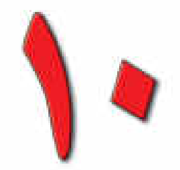






حكومة إقليم كوردستان ــ العراق

وزارة التربية ـ المديرية العامة للمناهج والمطبوعات





# الكيمياء

## كتاب الطالب - الصف العاشر العلمي


٢٠١٥م / ٢٧١٥ كوردي / ١٤٣٦ هـ

الأشراف الفني على الطبع

عثمان پيرداود كواز

آمانج اسماعيل عبدي

# المحتَويات




# 1

# المدخلُ إلى الكيمياءِ والمادّة

## الفصول





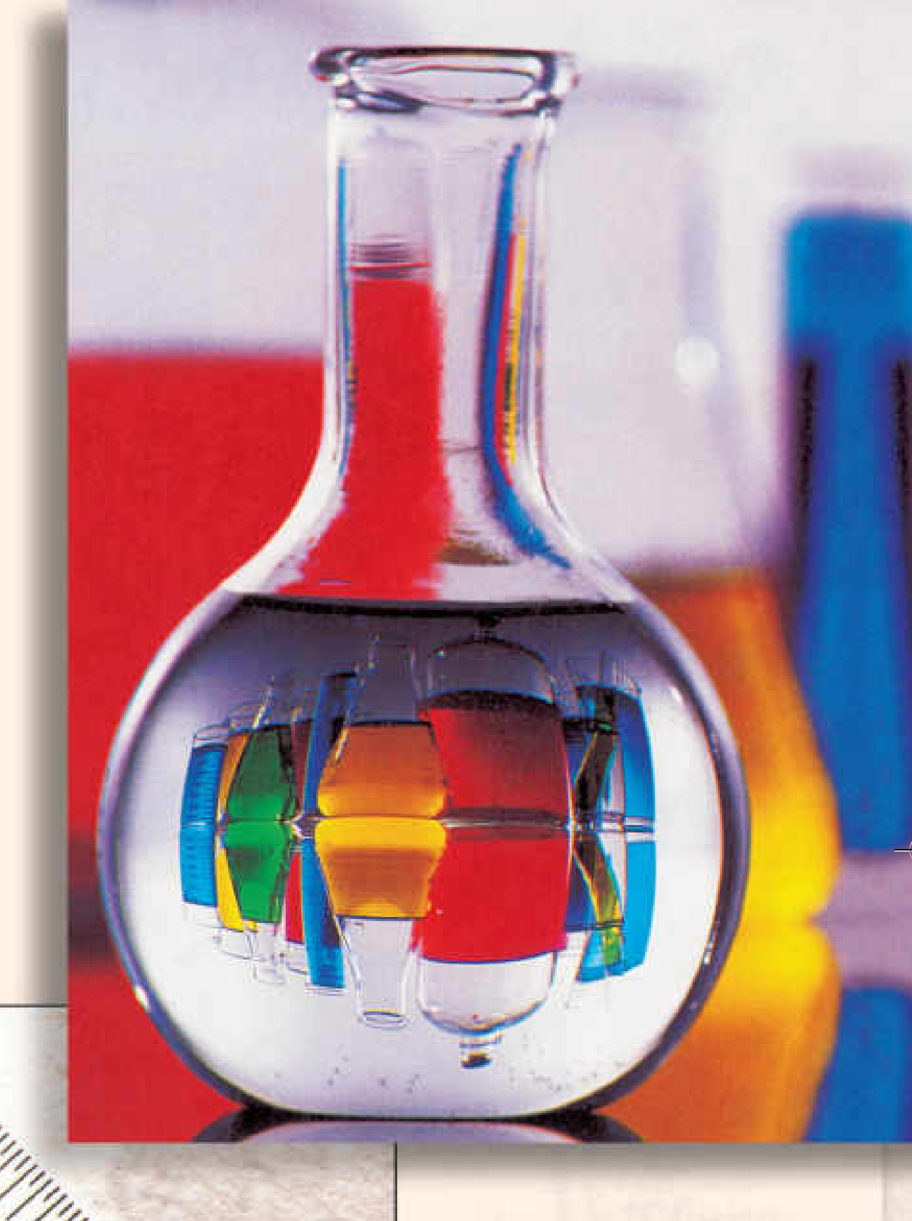
## وليَمْ هاليفرسون، في الفرقِ بين العلمِ وأدواتِ العلم

الاعتقادُ بأنَّ العلمَ ينحصرُ في أدواتِه وحدَها، كأنابيبِ الاختبارِ والمجاهرِ وسواها، خطأٌ شديد.

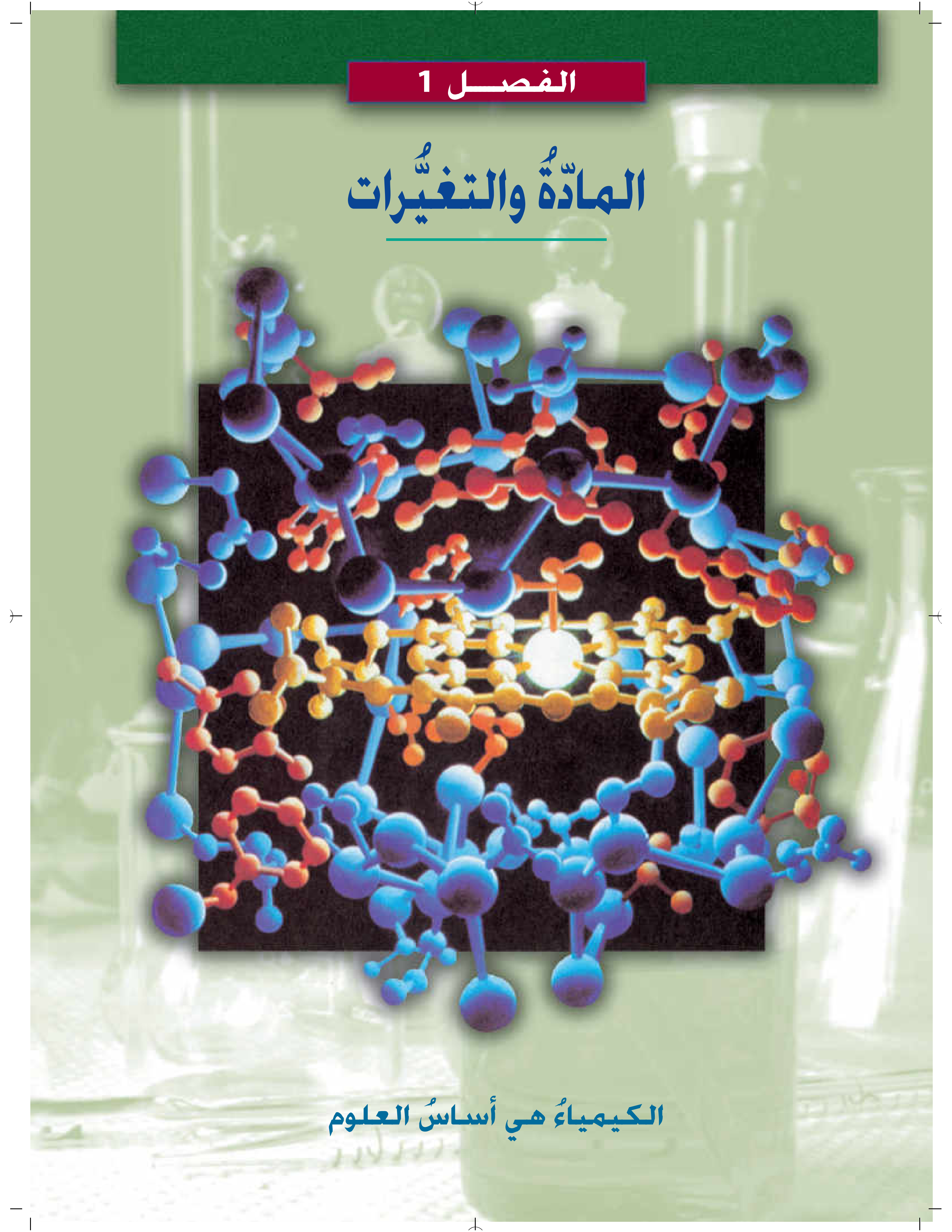
لا ينبغي الخلطُ بين أدواتِ العلمِ والعلمِ نفسِه.

«العلمُ» هو، بكلِّ بساطةٍ، العنوانُ العريضُ الذي يشتملُ على حصيلةِ الجهودِ البشريةِ للتوصُّلِ إلى فهمِ الكونِ المادّيِّ فهمًا منهجيًّا من خلالِ الأبحاثِ العلمية. أمّا أدواتُ العلمِ، فالغرضُ منها دعمُ هذهِ الجهودِ وحَسْب.

(من موجزِ المدخلِ إلى الفلسفة)






الفصـــل 1
المادّةُ والتغيُّرات
الكيمياءُ هي أساسُ العلوم

القســـم 1-1

# الكيمياءُ علمٌ فيزيائيّ

## النواتجُ التعليمية

- يُعرِّفُ علمَ الكيمياء.
- يعددُ أمثلةً على فروعِ الكيمياء.
- يقارنُ بين البحثين الأساسيِّ والتطبيقيِّ والتطورِ التكنولوجي.

قُسِّمتِ العلومُ الطبيعيةُ في السابقِ إلى قسمين، هُما العلومُ البيولوجيةُ (علمُ الأحياء) والعلومُ الفيزيائية (علمُ غيرِ الأحياء). وبما أنَّ الموادَّ الحيةَ وغيرَ الحيةِ هي ذاتُ بنيةٍ كيميائيةٍ، اعتبرتِ الكيمياءُ أساسَ العلومِ كلِّها، ولم يعدْ هنالكَ تفريقٌ بين العلومِ البيولوجيةِ والعلومِ الفيزيائية.

**الكيمياءُ** chemistry هي دراسةُ تركيبِ المادّةِ ومعرفةُ خواصِّها والتغيُّراتِ التي تخضعُ لها. وتعالجُ الكيمياءُ أسئلةً مثل: ممَّ تتألفُ المادّة؟ ما نظامُها الخارجيُّ والداخليّ؟ كيف تتصرفُ المادّةُ وتتغيرُ إذا تمَّ تسخينُها أو تبريدُها، أو اختلطتْ بموادَّ أُخرى؟ ولماذا يحدثُ هذا التغيُّر؟

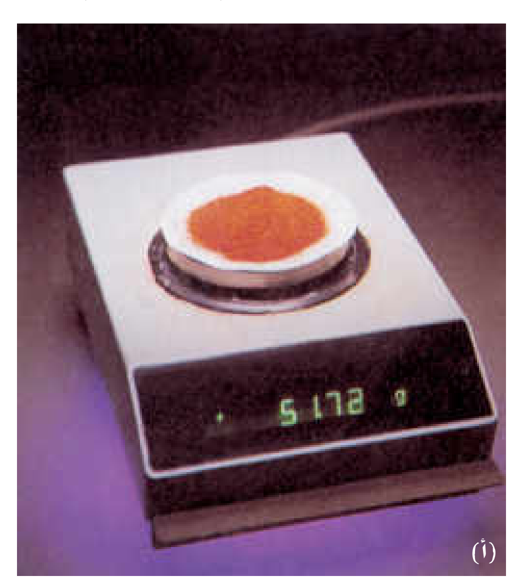
يعملُ الكيميائيونَ على الإجابةِ عن هذه التساؤلاتِ خلالَ تجاربِهم وأبحاثِهم اليومية، مستخدمينَ العديدَ من الأدواتِ والأجهزةِ (**الشكل 1-1**) لإجراءِ القياساتِ اللازمةِ لتوسيعِ قدرتِهم على الملاحظة. فبواسطةِ أجهزةٍ كالمجهرِ الإلكترونيِّ الماسحِ، مثلاً، يمكنُهم النظرُ إلى البُنى الدقيقة، وهي أشياءُ صغيرةٌ جدًّا. وباستعمالِ الأشعةِ السينيةِ، يمكنُ الكشفُ عن ترتيبِ الذراتِ والجزيئاتِ والجسيماتِ الأخرى التي تكوّنُ المادّة. ويستطيعُ علماءُ الكيمياءِ، بتعرفِهم إلى البنى الدقيقةِ أن يفسِّروا سلوكَ الأشياءِ المرئيةِ من حولِنا.

## فروعُ الكيمياء

تشتملُ الكيمياءُ على عدةِ فروعٍ للدراسةِ والبحث. وفي ما يلي ستةُ فروعٍ رئيسةٍ يرتبطُ بعضُها بالآخرِ وتتداخلُ عادةً فيما بينها:

أ. الكيمياءُ العضويةُ علمٌ يدرسُ معظمَ مركّباتِ الكربون.

**الشكل 1-1** (أ) الميزانُ جهازٌ يقيسُ كتلةَ المادّة. (ب) عيِّنةٌ من الـ DNA تحت مجهرٍ إلكترونيٍّ ماسحٍ يُظهرُ تضاريسَ سطحِ جزيئةِ الـ DNA.


(أ)


(ب)

ب. الكيمياءُ اللاعضويةُ علمٌ يدرسُ جميعَ المركَّباتِ التي لا تدخلُ ضمنَ المركَّبات العضويةِ، أي التي لا يحتوي أغلبُها على عنصرِ الكربون.
ج. الكيمياءُ الفيزيائيةُ علمٌ يدرسُ خواصَّ المادّةِ وتغيُّراتِها والعلاقةَ بينها وبين الطاقة.
د. الكيمياءُ التحليليةُ علمٌ يهتمُّ بتمييزِ ودراسةِ مكوِّناتِ المركَّباتِ ومحتوى الموادّ.
هـ. الكيمياءُ الحيويةُ فرعٌ من علم الكيمياءِ يُعنى بدراسةِ الموادِّ والعملياتِ التي تحدثُ للكائناتِ الحية.
و. الكيمياءُ النظريةُ فرعٌ من الكيمياءِ يهتمُّ باستعمالِ الرياضياتِ والحواسيبِ لدراسةِ المبادئِ التي تكمنُ وراءَ السلوكِ الكيميائيِّ للمركَّبات وللتنبّؤِ بمركَّباتٍ جديدةٍ ودراسةِ خواصِّها.

يتعاملُ الكيميائيونَ في جميعِ فروعِ الكيمياءِ مع الموادِّ الكيميائية. وتُعرَفُ **المادّةُ الكيميائيةُ** chemical بأنها كلُّ مادّةٍ لها تركيبٌ محدَّد، فالسكَّروزُ (سكرُ المائدة)، مثلاً ينتجُ أثناءَ عمليةِ البناءِ الضوئيِّ التي يقومُ بها نوعٌ من النباتِ مستخدمًا غازَ ثاني أكسيدِ الكربونِ والماء. إنَّ السكَّرَ وغازَ ثاني أكسيدِ الكربونِ والماءَ جميعَها موادُّ كيميائية، لكلٍّ منها تركيبٌ محدَّدٌ من حيثُ الذراتُ التي يتكون منها. وعند معرفةِ خواصِّ الموادِّ الكيميائيةِ يستطيعُ الكيميائيونَ إيجادَ استعمالاتٍ مناسبةٍ لهذه الموادّ. وكمثالٍ على ذلك استطاعَ الباحثونَ تكوينَ موادَّ جديدةٍ، كبعضِ المُحَلِّيَاتِ والألياف الاصطناعية. إنَّ معرفةَ خواصِّ الموادِّ الكيميائيةِ وتكوينَ موادَّ جديدةٍ وتوظيفَها حياتيًّا لا يأتي إلا من خلالِ دراساتٍ وأبحاثٍ عديدةٍ، من أهمِّها:

## البحثُ الأساسيّ

يُجرى البحثُ الأساسيُّ لزيادةِ المعرفةِ وللإجابةِ عن تساؤلاتٍ مثل: كيف يحدثُ تفاعلٌ معيَّنٌ في المادّة؟ ولماذا؟ ما خواصُّ تلك المادّة؟ والاكتشافاتُ التي تمَّتْ مصادَفةً هي من نتاجِ البحثِ الأساسي. خواصُّ التفلون، مثلاً، اكتُشفتْ مصادَفة. فقد لاحظَ الباحثُ بلنكِت ومعاونوهُ أنَّ قارورةَ الغازِ الخاصةَّ بالتجربةِ بدت فارغةً في حينِ كانتْ حساباتُه الكمِّيةُ تدلُّ على أنها مليئة. وعندما قَطَع القارورةَ وجدَ فيها مادّةً بيضاءَ صُلبةً عُرفتْ، فيما بعدُ، بالتفلون. من خلالِ البحثِ الأساسيِّ، حدَّد بلنكِت وفريقُ عملِهِ خواصَّ هذه المادّةِ غيرِ اللاصقةِ، وتركيبتَها الكيميائيةَ ومكوِّناتِها الكيميائيةَ أيضًا.

## البحثُ التطبيقيّ

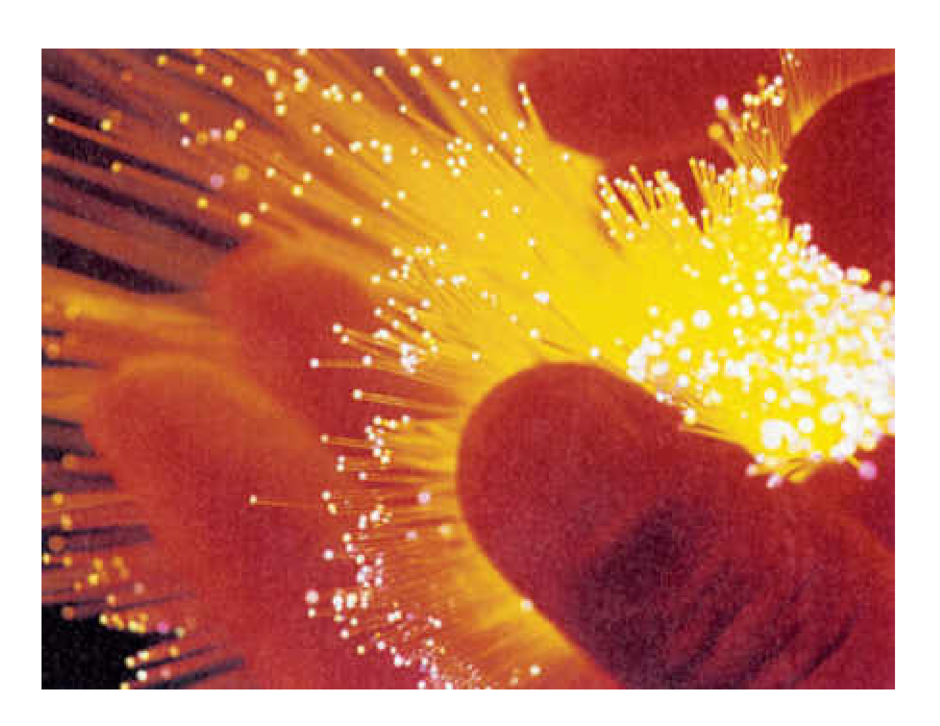
يجري البحثُ التطبيقيُّ، عادةً، لحلِّ مشكلةٍ قائمة. فمثلاً، عندما يتصاعدُ غازُ التبريدِ إلى الغلافِ الجويِّ يُحدثُ ضررًا في طبقةِ الأوزونِ التي تساعدُ على منعِ الأشعةِ فوق البنفسجيةِ الضارّةِ من الوصولِ إلى سطحِ الكرةِ الأرضية. وقد أُجريتْ التجاربُ تجاوبًا مع الاهتماماتِ المتعلقةِ بما ينجُمُ عن ذلك من مشاكلَ صحية، فعمدَ الكيميائيونَ إلى تطويرِ مركَّباتٍ جديدةٍ لتحلَّ محلَّ غازِ التبريد.

في البحثِ التطبيقيِّ، ليسَ الفضولُ المعرفيُّ وحدَهُ ما يدفعُ الباحثينَ، بل أيضًا رغبتُهم في إيجادِ حلٍّ لمشكلةٍ مطروحة.

## التطورُ التكنولوجيّ

يشملُ التطورُ التكنولوجيُّ إنتاجَ واستعمالَ منتَجاتٍ تحسِّنُ مستوى حياتِنا. من الأمثلةِ





**الشكل 1-2** تعطي البنيةُ الكيميائيةُ لموادِّ الألياف البصريةِ خاصةَ الانعكاسِ الداخليِّ التامِّ. هذهِ الخاصةُ، أي تمكُّنُ الأليافِ من أن تحملَ ضوءاً، هي اكتشافٌ كانَ قد تمَّ بواسطةِ البحثينِ الأساسيِّ والتطبيقيِّ. واستعمالُ هذه الخاصةِ لبناءِ شبكةِ الاتصالاتِ عن بعدٍ، بطريقةِ إرسالِ المعلوماتِ عبر الذبذباتِ الضوئيةِ، هو التطورُ التكنولوجيُّ في مجالِ الألياف البصرية.

على ذلك استعمالُ الحواسيبِ، والحفّازاتِ لتنقيةِ عوادمِ السياراتِ، والموادِّ التي تتحلَّلُ بيولوجيًا.

وغالبًا ما تتأخرُ التطبيقاتُ التكنولوجيةُ عن الاختراعاتِ الأساسيةِ، فمثلاً تأخرَ استعمالُ أدواتِ الطبخِ غيرِ اللاصقةِ، التيفال، وهي حاصلُ تطبيقٍ تكنولوجيٍّ كانَ أساسَهُ اكتشافُ التفلون عن طريقِ المصادفة. وعندما اكتُشفَ أنَّ الطِّلاءَ بالتفلون لا يلبثُ أن يزولَ، لَزِمَ أن تُحلَّ هذه المشكلةُ، فتمكنَ العلماءُ، باستعمالِ أبحاثٍ تطبيقية، من تحسينِ الالتصاقِ بين التفلون وسطحِ الفلزِّ المستعمل في أدواتِ الطبخ.

وغالبًا ما تتداخلُ الأبحاثُ الأساسيةُ والأبحاثُ التطبيقيةُ مع التطورِ التكنولوجيّ. فرُبَّ اكتشافٍ في بحثٍ أساسيٍّ يثيرُ أفكارًا تطبيقيةً يمكنُ أن تَنتُجَ عنها تكنولوجياتٌ جديدة (**الشكل 1-2**).

فتقدمُ الليزر، مثلاً، كانَ نتيجةَ البحثِ الأساسيِّ لمعرفةِ سلوكِ الضوءِ في البلَّورات. بعد ذلك اكتُشفَ أنَّ ذبذباتٍ ضوئيةً من الليزر يمكنُ أن تُرْسَلَ عبر أليافٍ بصرية. وفي يومِنا هذا، يمكنُ أن تُرسَلَ معلوماتٌ مثلُ الرسائلِ التلفونيةِ والإشاراتِ التلفزيونيةِ بسرعةٍ، وإلى مسافاتٍ بعيدةٍ، باستعمالِ هذه الألياف.

## مراجعةُ القسم 1-1

**1.** عرِّفِ الكيمياء.

**2.** عدِّدْ فروعَ الكيمياءِ الستة.

**3.** قارنْ بين البحثينِ الأساسيِّ والتطبيقيِّ والتطورِ التكنولوجيّ.

## القسم 2-1

### النواتجُ التعليمية

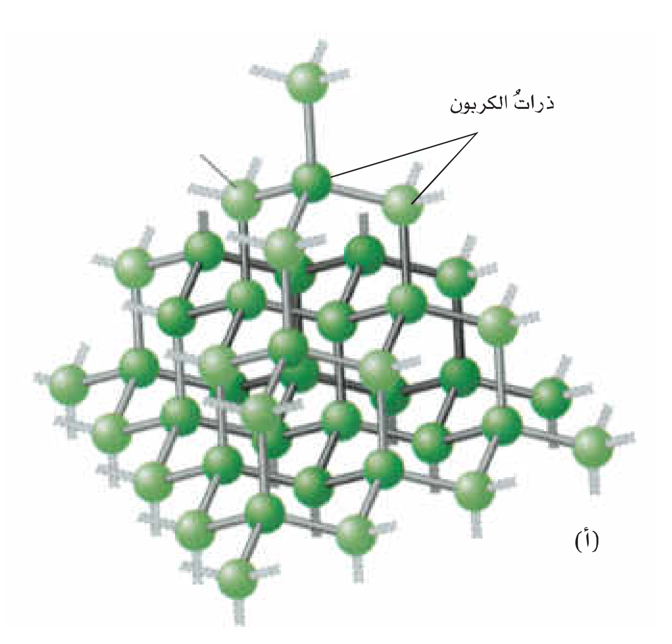
- يميزُ بين الخواصِّ الفيزيائيةِ والخواصِّ الكيميائيةِ للمادة.
- يصنفُ تغيُّراتِ المادّةِ بين تغيُّراتٍ فيزيائيةٍ وتغيُّراتٍ كيميائية.
- يقارنُ بين حالاتِ المادةِ الغازيّةِ والسائلةِ والصُّلبةِ من الناحيةِ الجزيئيّة.
- يميزُ بين الخليطِ والمادةِ النقية.

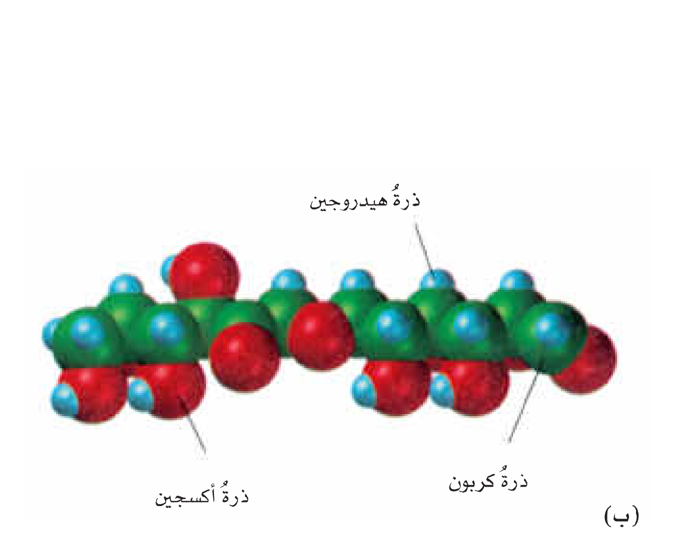
# المادّةُ وخواصُّها

إذا نظرتَ من حولِك، فإنك بلا شكٍّ تجدُ أشياءَ كثيرةً مختلفةً ومتنوعةً (اذكُرْ بعضَ هذه الأشياء). وليس من شكٍّ في أنك تعرفُ أنَّ كلَّ ما تراهُ هو مادّة. فما هي المادّة؟ وما خواصُّها؟ ستتعلمُ في هذا الفصلِ كيف تجيبُ عن هذه الأسئلة. لشرحِ ماهيّةِ المادّةِ يلزمُك إيجادُ الخواصِّ التي تشتركُ فيها جميعُ أنواعِ الموادّ. وقد يبدو ذلك صعبًا نظرًا لتعددِ الأشكالِ التي يمكنُ أن تتخذَها المادّة. لنأخذِ الحجرَ مثلاً على المادّة، فأولُ ما يمكنُ أن تلاحظَهُ هو أنَّ الحجرَ يشغلُ حيّزًا من الفراغِ، أي له حجم. والحجمُ هو مقدارُ ما يحتلُّهُ الجسمُ من الفراغِ في الأبعادِ الثلاثة. أما **الكتلةُ** mass فهي قياسُ كميّةِ المادّة. لذلك تُعرَفُ **المادّةُ** matter بأنها كلُّ شيءٍ له كتلةٌ وله حجمٌ، وذلك لأنَّ جميعَ الموادِّ تشتركُ في هاتينِ الخاصّتين. فهما إذنْ من الخواصِّ العامةِ لكلِّ أنواعِ المواد.

## وحداتُ البناءِ الأساسيةُ للمادّة

للمادّةِ أشكالٌ عدةٌ، أما وحدةُ بنائِها الأساسيةُ فهي الذراتُ والجزيئات. هذه الجسيماتُ تؤلفُ العناصرَ والمركَّبات. أما **الذرةُ** atom فهي أصغرُ جسيمٍ من العنصرِ يحتفظُ بكلِّ خواصِّ هذا العنصر. و**العنصرُ** element هو مادّةٌ نقيةٌ تحتوي على نوعٍ واحدٍ من الذرات. فالكربونُ والهيدروجينُ والأكسجينُ كلُّها عناصرُ، يحتوي كلٌّ منها على نوعٍ واحدٍ من الذرات.




**الشكل 3-1** تتكوّنُ العناصرُ والمركَّباتُ من ذراتٍ كما هو مبيَّنٌ في هذينِ النموذجين (أ) الماس (ب) السكَّروز (سكَّرُ المائدة).

أما **المركّبُ** compound فهو المادّةُ التي تتألّفُ من ذراتِ نوعينِ أو أكثرَ من العناصرِ المرتبطةِ كيميائيًّا بنسبٍ معيّنةٍ من حيثُ الكتلة. ويتصفُ المركَّبُ بخواصَّ جديدةٍ تختلفُ عن خواصِّ العناصرِ المكوِّنة له. يتألفُ العديدُ من المركَّباتِ من جزيئات (**الشكل 1-3**)، فمركَّبُ الماءِ، مثلاً، يتكوَّنُ من عنصرَيِ الهيدروجينِ والأكسجين. حتى الآنَ يمكنُ اعتبارُ الجزيءِ أصغرَ وحدةٍ من العنصرِ أو المركَّبِ تمتلكُ كلَّ خواصِّ هذا أو ذاك.

# خواصُّ المادّةِ وتغيُّراتُها

يستغلُّ الكيميائيونَ الخواصَّ التي تميِّزُ الموادَّ للتفريقِ بينها. وتعتمدُ معظمُ الاختباراتِ الكيميائيةِ على مثلِ هذه الخواصّ. فكما يمكنُنا التفريقُ بين مجموعاتِ المادّةِ الواحدةِ بواسطةِ هذه الخواصِّ، يمكنُنا أيضًا استخدامُها لتصنيفِ مادّةٍ مجهولةٍ ضمنَ مجموعةٍ من الموادِّ، فمثلاً الفلزّاتُ مجموعةٌ كبيرةٌ من الموادِّ تجمعُها خواصُّ متشابهةٌ أهمُّها التوصيلُ الجيدُ للتيارِ الكهربائيّ. فبالتالي إذا ظهرَ عنصرٌ مجهولٌ ووُجدَ أنه موصلٌ جيدٌ للتيارِ فإنه يصنَّفُ كفلزٍ. غيرَ أنَّ التعريفَ الحاسمَ لِهُويَّةِ المادّةِ لا يعتمدُ على خاصةٍ واحدةٍ بل على مجموعةٍ من الخواصّ. وهناك **خواصُّ تعتمدُ على كميةِ المادّةِ الموجودة** extensive properties كخواصِّ الحجمِ والكتلةِ وكميةِ الطاقة. **وهناكَ خواصُّ أخرى لا تعتمدُ على كميةِ المادّةِ الموجودة** intensive properties كدرجةِ الانصهارِ والغليانِ والكثافةِ والقدرةِ على توصيلِ الكهرباءِ والحرارة. هذه الخواصُّ ثابتةٌ للمادّةِ الواحدةِ بغضِّ النظرِ عن الكميةِ الموجودةِ. وتُقسمُ خواصُّ المادّةِ إلى نوعينِ عامَّينِ هما الخواصُّ الفيزيائيةُ والخواصُّ الكيميائية:

## الخواصُّ والتغيُّرات الفيزيائيةُ للمادّة

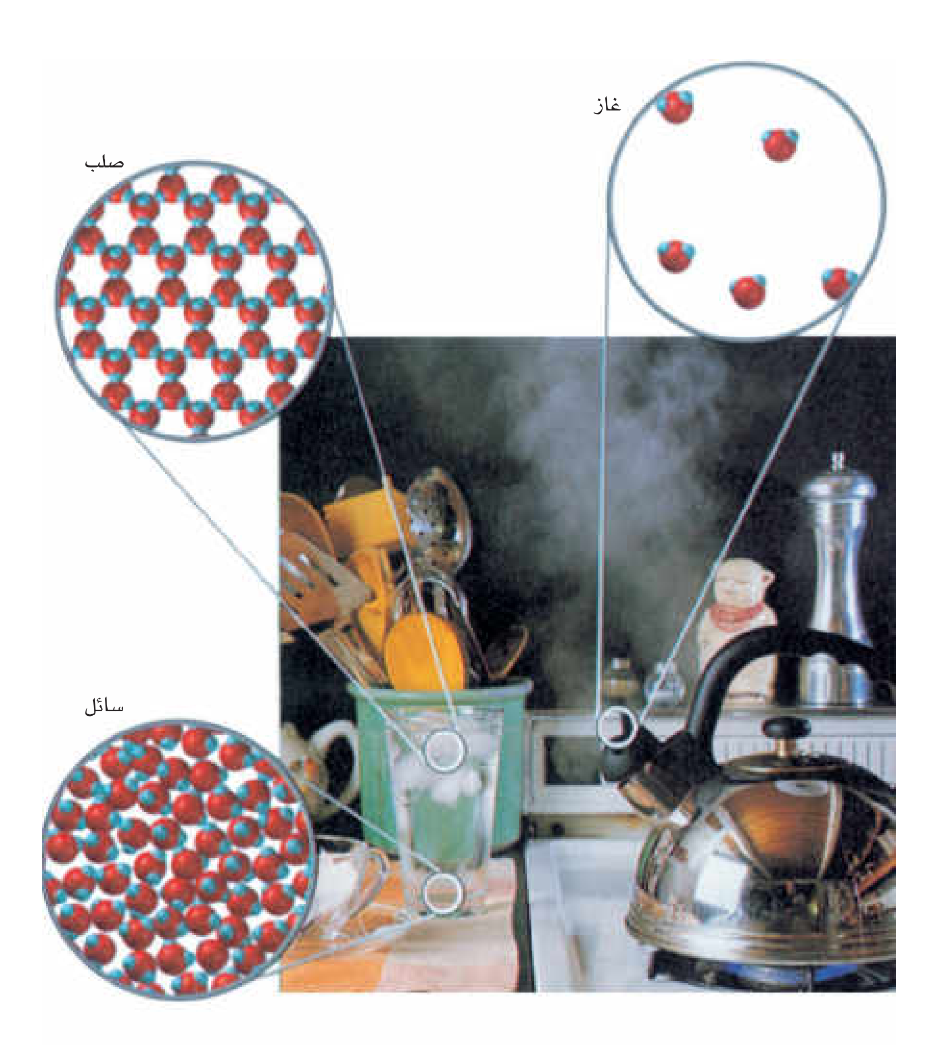
**الخواصُّ الفيزيائيةُ** physical properties للمادّةِ هي الصفاتُ التي تُرى أو تُقاسُ دونَ أن يحدثَ تغيُّرٌ في هُويةِ المادّة، أي إنها الصفاتُ التي تتصفُ بها المادّةُ نفسُها وليس كيفيةُ تحولِها إلى موادَّ أخرى. من الأمثلةِ على ذلك درجتا الانصهارِ والغليانِ اللتانِ تمثلانِ، على التوالي، درجةَ الحرارةِ التي تنصهرُ عندَها الجوامدُ لتتحولَ إلى سوائلَ، ودرجةَ الحرارةِ التي تتحولُ عندَها السوائلُ إلى غازات.

فالماءُ مثلاً يتحولُ من ثلجٍ صُلبٍ إلى سائل عند درجةِ حرارةٍ هي الصفرُ المئويّ (273°K أو 32°F). يغلي الماءُ السائلُ متحوِّلاً إلى بخارٍ عند 100°C (373°K أو 212°F) (**الشكل 1-4**).

**التغيرُ الفيزيائيُّ** physical change يكونُ في خواصِّ المادّةِ الفيزيائيةِ دون أن يحوِّلَها إلى مادّةٍ أخرى. فمثلاً عملياتُ طحنِ المادّةِ وتقطيعِها وصهرِها وغليِها لا تغيرُ من هُويَّةِ المادّةِ، إذ تبقى المادّةُ كما هي. إنَّ الانصهارَ والغليانَ هما مثالانِ على التغيُّراتِ الفيزيائيةِ، ويدخلانِ ضمنَ فئةِ **التغيُّرِ في الحالة** change of state، وهو تغيرٌ فيزيائيٌّ يجعلُ المادّةَ تتحولُ من حالةٍ إلى أخرى. فالانصهارُ هو التغيُّرُ من الحالةِ الصُّلبةِ الى الحالةِ السائلةِ، وهو مثالٌ على التغيُّرِ في الحالة. والغليانُ كذلك هو التغيُّرُ من الحالةِ السائلةِ إلى الحالةِ الغازيّة. والتجمدُ، بعكسِ الانصهارِ، هو تحولٌ من الحالةِ السائلةِ إلى الحالةِ الصلبة. إنَّ التغيُّرَ في الحالةِ لا يغيرُ ماهيَّةَ المادّةِ، فعندما ينصهرُ الثلجُ ليصبحَ



**الشكل 1-4** يغلي الماءُ عند 100 درجةٍ مئويةٍ، بغضِّ النظرِ عن كميةِ الماءِ الموجودةِ في الوعاء. درجةُ الغليانِ هي خاصةٌ لا تعتمدُ على كميةِ الماءِ الموجودة.



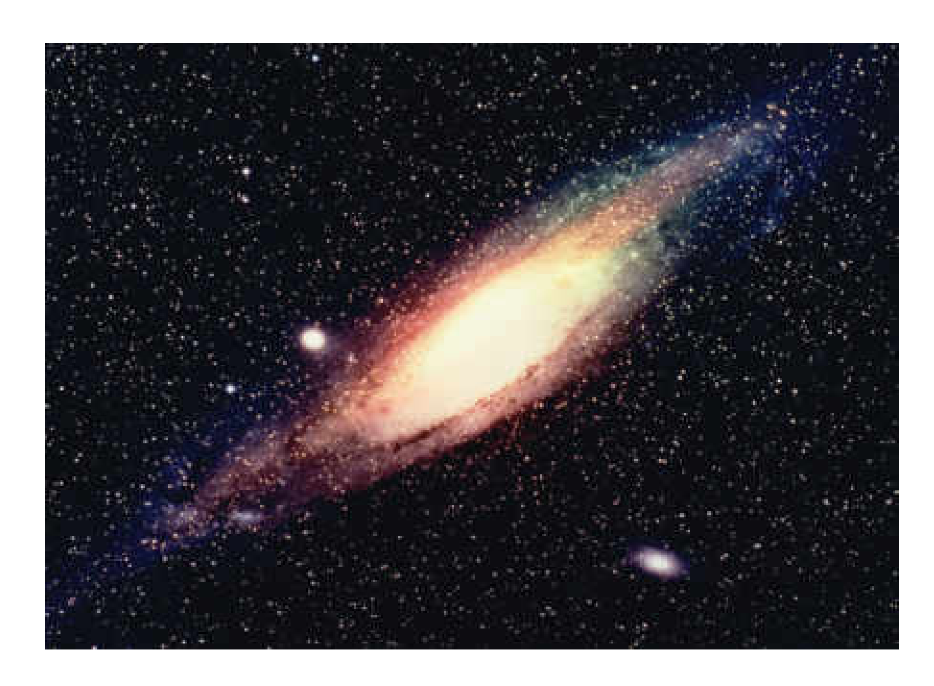

**الشكل 5-1** نماذجُ للماءِ في حالاتِه الثلاث: الجزيئاتُ قريبةٌ من بعضِها في الحالةِ الصُّلبةِ والحالةِ السائلة، لكنها متباعدةٌ جدًّا في الحالةِ الغازيّة وفي الحالةِ الصُّلبةِ تكونُ الجزيئاتُ ثابتةً في مواضعِها تقريبًا، بينما تكونُ في الحالتين السائلةِ والغازيّةِ متحركة.

ماءً سائلاً، وعندما يغلي الماءُ السائلُ ليكوِّنَ بخارَ الماءِ، تبقى المادّةُ، وهي الماءُ، موجودةً، كما يظهرُ في **الشكل 5-1**. يؤثِّرُ هذا التغيُّرُ في حالةِ الماءِ، لكنه لا يحولُهُ إلى مركَّبٍ مختلف. فالتغيُّر يحصُلُ فقط على مستوى الجسيماتِ والمسافةِ التي تفصِلُ بينها.

الحالاتُ الشائعةُ للمادّةِ ثلاث: الحالةُ الصُّلبةُ والسائلةُ والغازيّةُ. **الحالةُ الصُّلبةُ** solid تتسمُ المادّةُ فيها بحجمٍ وشكلٍ محدَّدين. فعلى سبيلِ المثالِ يحتفظُ الكوارتزُ والفحمُ بشكلَيْهما بغضِّ النظرِ عن الوعاءِ الذي يوضعانِ فيه. وتتصفُ المادّةُ الصُّلبةُ بهذه الخواصِّ لأنَّ الجسيماتِ التي تكوِّنُها تكونُ قريبةً من بعضِها (متراصّةً)، تربطُ بينها قوى تجاذبٍ قوية، مما يجعلُها ثابتةً نسبيًا وتتذبذبُ فقطَ حولَ نُقطٍ ثابتة. أما **الحالةُ السائلةُ** liquid فتتسمُ فيها المادّةُ بحجمٍ محدَّدٍ، لكنها تفتقرُ إلى شكلٍ محدَّد. فالسوائلُ تتخذُ شكلَ الوعاءِ الذي توضعُ فيه. تتصفُ الموادُّ السائلةُ بهذه الخواصِّ، لأنَّ الجسيماتِ التي تكوِّنُها متقاربةٌ، لكنها أكثرُ حركةً من الجسيماتِ في الحالةِ الصلبةِ، حيث تسمحُ لها قوى التجاذبِ التي بينها بالحركةِ والانزلاقِ فوق بعضِها. وفي **الحالةِ الغازيّةِ** gas تفتقرُ المادّةُ إلى حجمٍ أو شكلٍ محدَّدين، فكميةٌ من غازِ الهيليوم تستطيعُ أن تنتشرَ لتملأَ أيَّ وعاءٍ توضعُ فيه مهما يكنْ حجمُه، وتتخذَ شكلَه. تتصفُ الموادُّ الغازيّةُ بهذهِ الخواصِّ، نظرًا للتباعدِ الكبيرِ بين الجسيماتِ، حيثُ قوى التجاذبِ ضعيفةٌ جدًّا إذا قورنتْ بقوى التجاذبِ في الحالةِ السائلةِ أو الصُّلبة. أما البلازما فهي الحالةُ الرابعةُ







للمادّةِ، هي الحالةُ الفيزيائيةُ التي تنتجُ عند درجاتِ الحرارةِ العاليةِ، حيثُ تفقدُ الذراتُ إلكتروناتِها. وتشاهَدُ هذه الحالةُ في مصابيح الفلوروسنت. للبلازما أمثلةٌ كثيرةٌ في الطبيعة. فالنجومُ والشمسُ والبرقُ (كما يظهر أعلاه) كلُّها أمثلةٌ على البلازما، كما أنَّ الغلافَ الخارجيَّ مكوَّنٌ من البلازما. ويمكنُ القولُ إنَّ البلازما تشكلُ نحوَ 99% من المادّةِ المكوِّنةِ للكون.

## الخواصُّ والتغيُّراتُ الكيميائيةُ للمادّة

على عكسِ الخواصِّ الفيزيائيةِ، ترتبطُ الخواصُّ الكيميائيةُ بقابليةِ المادّةِ لتغيُّراتٍ يمكنُ أن تحوِّلَها إلى موادَّ أُخرى. وتسهلُ رؤيةُ **الخواصِّ الكيميائيةِ** chemical properties عندما تتفاعلُ مادَّتانِ لتكوِّنا مادّةً جديدة. فإمكانيّةُ احتراقِ الفحمِ في الهواءِ هي خاصةٌ كيميائية. عندما يحترقُ الفحمُ يتحدُ الكربونُ مع أكسجينِ الهواءِ ويتحولانِ إلى ثنائي أكسيدِ الكربون. أي إنه بعد **التغيُّرِ الكيميائيِّ** chemical change لا تعودُ عناصرُ الفحمِ الأصليةُ موجودةً، لأنَّ مادّةً مختلفةً أُنتِجتْ، وبصفاتٍ مختلفة. ومن الأمثلةِ الأُخرى قابليةُ الحديدِ للصدأ عند اتحادِهِ مع أكسجينِ الهواءِ الرطب، وفقدانُ الفضةِ لمعانَها عند اتحادِها بالكبريت. فكلُّ تغيُّرٍ ينتهي بتحولِ المادّةِ إلى مادّةٍ أو موادَّ تختلفُ عنها في خواصِّها، يدعى تغيُّرًا كيميائيًّا أو **تفاعلاً كيميائيًّا** chemical reaction. والموادُّ التي تتفاعلُ تُسمّى **الموادَّ المتفاعلة** reactants. أما الموادُّ التي تنتجُ من التفاعلِ الكيميائيِّ فتُسمّى **الموادَّ الناتجة** products.

في حالةِ احتراقِ الفحم، يكونُ الكربونُ والأكسجينُ المادتينِ المتفاعلتين، أما ثنائي أكسيدِ الكربونِ فهو الناتج. ويمكنُ وصفُ هذا التغيُّرِ الكيميائيِّ بالمعادلةِ التالية:

أكسجين + كربون ⟵ ثنائي أكسيدِ الكربون

إنَّ تفكُّكَ المركَّبِ الزئبقيِّ المبيَّنِ في **الشكلِ 7-1** يمكنُ توصيفُه بما يلي:

أكسيد الزئبق (II) ⟵ زئبق + أكسجين




**الشكل 6-1** يُستعملُ محلولُ بندكت الذي يحتوي على خواصَّ كيميائيةٍ معينةٍ لاختبارِ السكرِ في البول. توضعُ شريطةُ الاختبارِ في العيِّنة، وتقابَلُ بشريطةِ قياسِ الألوانِ بغيةَ التمكنِ من تقديرِ كميةِ السكرِ في البول.




**الشكل 1-7** عندما يُسخَّنُ أكسيدُ الزئبقِ (II) يتفكَّكُ إلى غازِ الأكسجينِ والزئبقِ (يُرى على جوانبِ أنبوبِ الاختبار). والتفكُّكُ تحولٌ كيميائيٌّ يمكنُ ملاحظتُهُ بالمقارنةِ بين خواصِّ أكسيدِ الزئبقِ (II) وخواصِّ الزئبقِ والأكسجين.

إنَّ التغيّراتِ والتفاعلاتِ الكيميائيةَ كالاحتراقِ والتفكُّكِ تعطي نواتجَ ذاتَ خواصَّ تختلفُ عن خواصِّ الموادِّ المتفاعلة. ومع ذلك لا تؤثرُ التفاعلاتُ الكيميائيةُ في كميةِ الموادِّ المتفاعلةِ، حيثُ يبقى مجموعُ كتلِ الموادِّ المشتركةِ في التفاعلِ والناتجةِ منه متساويًا.

## الطاقةُ والتغيُّراتُ في المادّة

يصحبُ التغيراتِ الفيزيائيةَ والكيميائيةَ عادةً تغيراتٌ في طاقةِ المادّة. وتأخذُ الطاقةُ أشكالاً عديدةً منها الحرارةُ والضوء. في بعضِ الحالاتِ تعطي الحرارةُ طاقةً كافيةً لحدوثِ تغيُّرٍ فيزيائيٍّ، كما في حالةِ انصهارِ الثلج. في حالاتٍ أخرى تعطي الحرارةُ الطاقةَ الكافيةَ لحدوثِ تغيُّرٍ كيميائيٍّ كتفكُّكِ بخارِ الماءِ إلى غازَي الأكسجينِ والهيدروجين. عند تعلُّمِ المزيدِ حولَ تكوينِ المادّةِ، تتوصلُ إلى فهمٍ أفضلَ للفرقِ بين التغيُّرِ الكيميائيِّ والتغيُّرِ الفيزيائيّ. فخلالَ تغيُّرٍ معيَّنٍ تنطلقُ الطاقةُ أو يتمُّ امتصاصُها، لكنها لا تَفنى ولا تُستحدث بل تتخذُ أشكالاً مختلفة. هذا ما يُعرفُ بقانونِ حفظِ الطاقة. ليس احتسابُ كميةِ الطاقةِ الموجودةِ قبلَ التغيرِ وبعدَه عمليةً بسيطة. لكنَّ العلماءَ الذينَ يقومونَ بتجاربَ مماثلةٍ واثقونَ من أنَّ كميةَ الطاقةِ تبقى هي نفسَها.

# تصنيفُ المادَّة

توجدُ المادةُ في أشكالٍ عديدةٍ، ومع ذلك يمكنُ تصنيفُها في مجموعتَيْن: موادَّ نقيةٍ وموادَّ مختلِطةٍ أو مخاليط. وتكونُ المادةُ النقيةُ إما عنصرًا أو مركَّبًا من عدةِ عناصر. وتركيبُها هو نفسُه لا يختلفُ من عيِّنةٍ إلى أخرى. في المقابلِ تحتوي المخاليطُ على أكثرَ من مادّةٍ نقية. وتختلفُ المخاليطُ في تكوينِها وخواصِّها من عيِّنةٍ إلى أخرى، وأحيانًا من جزءٍ في العيِّنةِ الواحدةِ إلى جزءٍ آخر. وجميعُ الموادِّ، نقيَّةً كانتْ أو مخاليطَ، بحسبِ شرطِ التجانسِ في التكوينِ والخواصِّ لإحدى العيناتِ، تُصنَّفُ بين عناصرَ ومركَّباتٍ ومخاليط (**الشكل 1-8**).

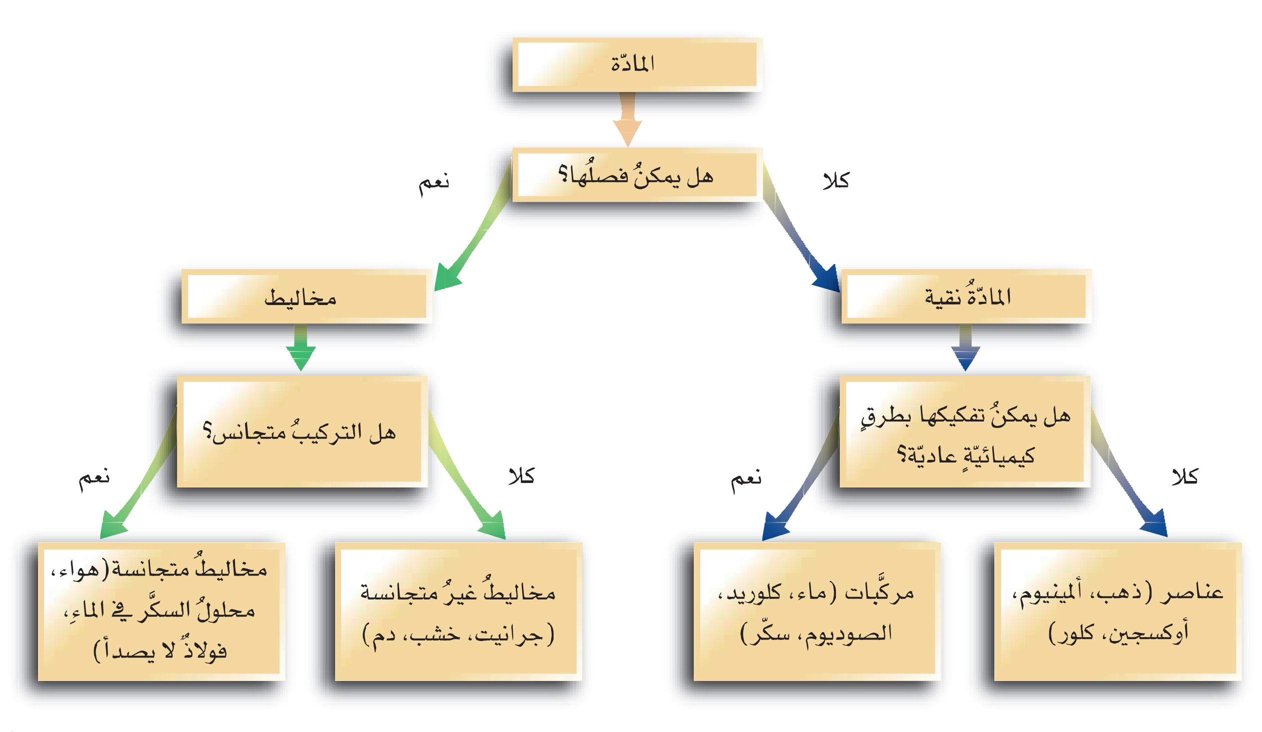
## المخاليط

نحن نتعاملُ مع المخاليطِ باستمرارٍ في حياتِنا اليومية. فمعظمُ الأشياءِ من حولِنا، كالطعامِ والشرابِ وحتى الهواءِ الذي نتنفسُه، هي مخاليط. **والخليطُ** mixture يجتمعُ فيه نوعانِ، أو أكثرُ، من المادّة. ويحتفظُ كلُّ نوعٍ فيه بهُوِيَّتِهِ وخواصِّه.

تُمزجُ مكوِّناتُ الخليطِ بطريقةٍ فيزيائيةٍ، ويمكنُ عادةً، إعادةُ فصلِها. وكنتيجةٍ لذلك فإنَّ خواصَّ الخليطِ هي خواصُّ مجموعةِ المكوِّناتِ نفسُها. لأن المخاليطَ تحتوي على كمياتٍ مختلفةٍ من المواد، لذا يتوجبُ تحديدُ محتوى الخليط. يتمُّ هذا التحديدُ، غالبًا، بذكرِ النسبةِ المئويةِ للكتلةِ أو الحجم. فمثلاً، نقولُ إن الخليطَ يحتوي على 5% من كتلتِهِ من كلوريد الصوديوم و 95% ماءً.

تحتوي بعضُ المخاليطِ على نسبةِ المكوِّناتِ نفسِها في أيِّ عينةٍ تؤخذُ منها. هذه المخاليطُ تُعرَفُ **بالمخاليطِ المتجانسةِ** أو **المحاليل**. محلولُ الملحِ في الماءِ هو مثالُ الخليط

**الشكل 1-8** يشيرُ تصنيفُ المادةِ هذا إلى العلاقاتِ بين المخاليطِ والمركَّباتِ والعناصر.







(أ)



(ب)

(ج)

**الشكل 1-9** (أ) يمكنُ فصلُ كروماتِ الباريوم من المحلولِ الموجودِ في الدورقِ المخروطيِّ بطريقةِ الترشيح. (ب) ويستخدمُ الطردُ المركزيُّ لفرزِ بعضِ الموادِّ الصلبةِ من المحلول. بهذه الطريقةِ تُفصَلُ المكوِّناتُ الصلبةُ، حيث تندفعُ هذه المكوِّناتُ الى قعرِ أنبوبةِ الطرد. (ج) وتُفصلُ مكوِّناتُ الحبرِ بطريقةِ الاستشرابِ الورقيّ.

المتجانس. من ناحيةٍ أخرى، بعضُ المخاليطِ تكونُ غيرَ متجانسة، وتُعرفُ بالمخاليطِ المتغايرة. ومنها خليطُ الطينِ والماءِ، حيثُ تتركّزُ جسيماتُ الطينِ مترسِّبةً في قعرِ الوعاء.

يمكنُ فصلُ مكوِّناتِ بعضِ المخاليطِ بالتبخيرِ أو الترشيح. لفصلِ كروماتِ الباريوم عن بقيةِ الموادِّ في خليطٍ من كروماتِ الباريوم الصلبةِ والماءِ، تُستعملُ طريقةُ الترشيح، كما في **الشكل 1-9** (أ)، حيث تُحبَسُ كروماتُ الباريوم الصفراءُ بواسطةِ ورقةِ الترشيح، بينما يخترقُ الماءُ الورقة.

ويمكنُ استخدامُ طريقةِ الترويقِ لفصلِ السائلِ عن المادّةِ الصلبة. عند ركودِ المادّةِ الصلبةِ في قعرِ الوعاءِ، يُسكَبُ الماءُ بحذرٍ فينفصلُ الخليط. ويُستخدمُ الطردُ المركزيُّ لفصلِ الموادِّ الصلبةِ العالقةِ في السائلِ، كما يحدثُ في فصلِ الموادِّ العالقةِ في الدَّمِ (**الشكل 1-9** (ب)). وهناكَ تقنيةٌ أخرى لفصلِ مخاليطَ من الأصباغِ، تُسمّى الاستشرابَ الورقيّ، حيثُ تتشربُ الورقةُ الأصباغَ المختلفةَ بمعدلاتٍ مختلفةٍ كما في **الشكل 1-9** (ج).

## الموادُّ النقيّة

على عكسِ المخاليطِ، تكونُ **المادّةُ النقيةُ** pure substance متجانسةً ككيانٍ منفردٍ، ولها تركيبٌ ثابت. تختلفُ المادّةُ النقيةُ عن الخليطِ بما يلي:

1. كلُّ عيِّنةٍ من المادّةِ النقيةِ لها الخواصُّ الفيزيائيةُ والكيميائيةُ نفسُها التي تميِّزُ هذه المادّة. ويمكنُ استخدامُ هذهِ الخواصِّ لتحديدِ هُوِيَّةِ المادّةِ، في حين أنَّ خواصَّ الخليطِ تعتمدُ على نِسَبِ مكوِّناته.

2. لكلِّ عيِّنةٍ من المادّةِ النقيةِ التركيبُ الكمِّيُّ نفسُه. فالماءُ النقيُّ، بخلافِ المخاليطِ، يحتوي دائمًا على 11.2% من كتلتِهِ هيدروجينًا، و 88.8% من كتلتِهِ أكسجينًا.

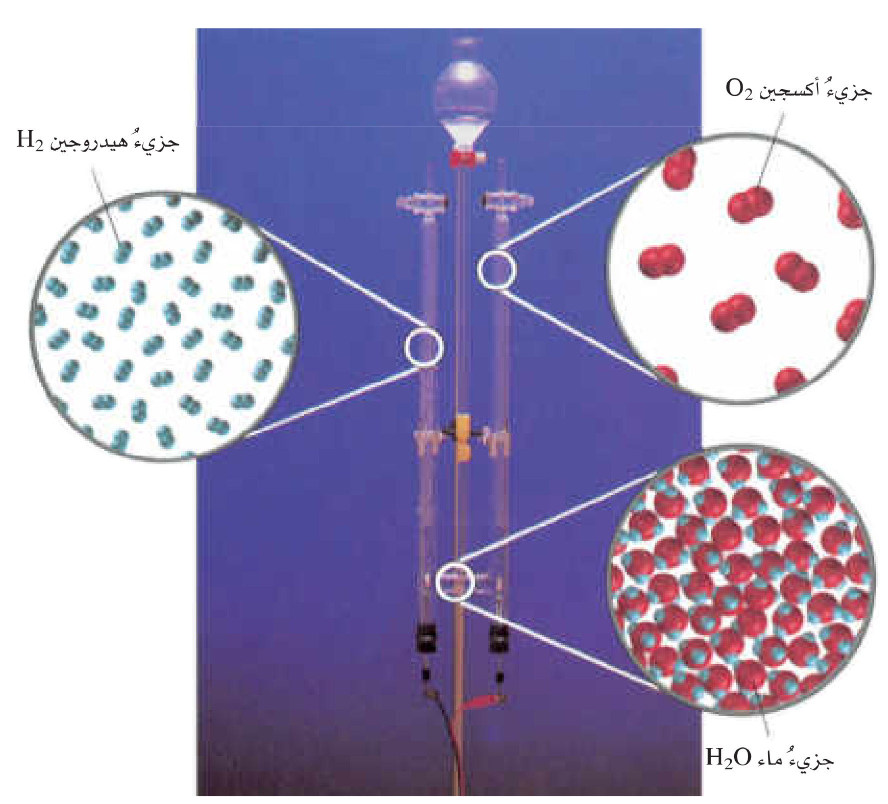
ويمكنُ للمادةِ النقيةِ أن تكونَ عنصرًا أو مركَّبًا. ويمكنُ للمركَّبِ أن يتفككَ ليكوِّنَ مركَّبينِ أبسطَ أو عنصرينِ أو أكثرَ، وذلك من خلالِ التغيُّرِ الكيميائيِّ. فالماءُ مركَّبٌ يتكوَّن من هيدروجينٍ وأكسجينٍ متحدينِ كيميائيًّا ليكوِّنا مادّةً واحدة. وفي المقابل، يمكنُ للماءِ أن يتحللَ إلى هيدروجينٍ وأكسجينٍ، بواسطةِ التفاعلِ الكيميائيِّ المعروفِ بالتحللِ الكهربائيِّ، كما يظهرُ في **الشكل 10-1** (أ).

والسكَّرُ مكوَّنٌ من كربونٍ وهيدروجينٍ وأكسجينٍ، وهو يتحللُ إلى الموادِّ المبيَّنةِ في **الشكل 10-1** (ب). وعندَ تعرُّضِهِ لحرارةٍ عالية، يتحللُ إلى كربونٍ وماء.

## كيميائياتُ المختبرِ ونقاوتُها

عمومًا، تُعاملُ الموادُّ الكيميائيةُ المستعملةُ في المختبراتِ وكأنها نقيَّةٌ، علمًا أنَّ الموادَّ الكيميائيةَ تحتوي على بعضِ الشوائب. ويجدُر بالذكرِ أنَّ تصنيفَ درجاتِ النقاوةِ يختلفُ باختلافِ معاييرِ المؤسساتِ المنتجة.

في بعضِ الكيميائياتِ تعدُّ فئةُ الـ USP أكثرَ نقاوةً من فئةِ الـ CP. ويصحُّ العكسُ بالنسبةِ إلى موادَّ كيميائيةٍ أخرى.




(أ)



(ب)

**الشكل 10-1** (أ) يمكنُ أن يتحللَ الماءُ بتمريرِ تيارٍ كهربائيٍّ فيه إلى عنصرَيْه، الهيدروجينِ والأكسجينِ، اللذينِ يختلفُ تركيبُهما عن تركيبِ الماء. (ب) عندما يُسخنُ السكرُ يتحولُ إلى كراميل. وعندما يتعرضُ لحرارةٍ عاليةٍ جدًّا يتحللُ كليًا إلى كربونٍ وماء.




$Zn(NO_3)_2 \bullet 6H_2O$ F.W. 297.47

**Certificate of Actual Lot Analysis**

| | |
|---|---|
| Acidity (as $HNO_3$) | 0.008% |
| Alkalies and Earths | 0.02% |
| Chloride (Cl) | 0.005% |
| Insoluble Matter | 0.001% |
| Iron (Fe) | 0.0002% |
| Lead (Pb) | 0.001% |
| Phosphate ($PO_4$) | 0.0002% |
| Sulfate ($SO_4$) | 0.002% |

Store separately from and avoid contact with combustible materials. Keep container closed and in a cool, dry place. Avoid contact with skin, eyes and clothing.

LOT NO. 917356

FL-02-0588 CAS 10196-18-6

**الشكل 11-1** عند إدراجِ المعلومات على قارورةِ مركَّبٍ كيميائيٍّ تُدْرَج درجةُ نقاوةِ المركَّب، والنِّسبُ المئويةُ للشوائبِ فيه. فما درجةُ نقاوةِ هذه المادةِ الكيميائية؟

وتعدُّ فئةُ المحاليلِ القياسيةِ الأوليةِ، في المادّةِ الكيميائيةِ نفسِها، أكثرَ نقاوةً من محاليلِ الفئةِ التقنية. يحتاجُ الكيميائيونَ، تبعًا لذلك، إلى أن يكونوا على علمٍ بأنواعِ الشوائبِ في المركَّب، لأنَّ هذه الشوائبَ تؤثِّرُ في نتائجِ التفاعلات. فعلى سبيلِ المثالِ، المركَّبُ المعرَّفُ في **الشكل 11-1** يشيرُ إلى الشوائب، فيمكِّنُ من تحديدِ درجةِ النقاوة.

وهذا يدعو المنتجَ الكيميائيَّ إلى أن يؤكِّد على أنَّ المعاييرَ الموضوعةَ على المحلولِ تراعي متطلَّباتِ المؤسساتِ الوطنيةِ للكيميائياتِ في بلدٍ معيَّن. فعلى سبيلِ المثال، كلُّ منتَجٍ كيميائيٍّ مُصنَّع يجبُ أن يكونَ مطابقًا للمواصفاتِ التي تضعُها الجمعيةُ الدوليةُ للكيمياء.

## مراجعةُ القسم 2-1

**1.** أ. ما الفرق الرئيس بين الخواصِّ الفيزيائيةِ والخواصِّ الكيميائية؟

ب. أعطِ مثالاً على كلٍّ منها.

**2.** أيُّ التغيُّراتِ التاليةِ فيزيائيٌّ وأيُّها كيميائيّ؟

أ. تمزيقُ صفحةٍ من الورق.

ب. صهرُ قطعةٍ من الشمع.

ج. حرقُ جذعِ شجرةٍ خشبيّ.

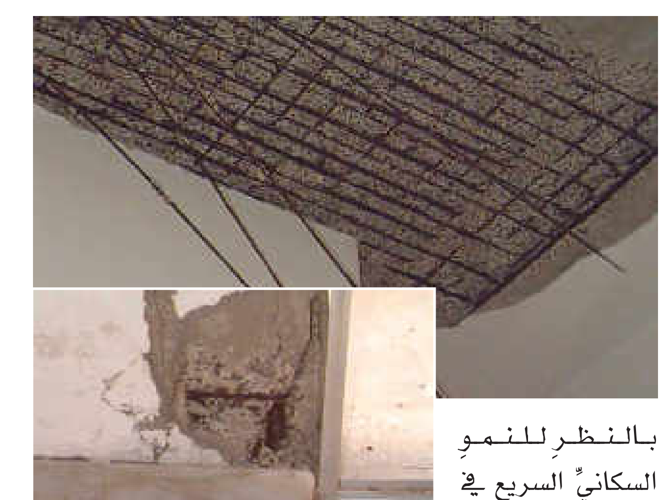
**3.** أُعطيتَ عيِّنةً من مادّةٍ معينة لتتفحصَها. كيف تقررُ أنها صلبةٌ أو سائلةٌ أو غازيّة؟

**4.** ميِّزْ بينَ المخاليطِ والموادِّ النقيّة.



## قراءة علمية

# تآكلُ قضبانِ الحديدِ في المباني



بالنظرِ للنمو السكانيِّ السريع في دولةِ الإمارات، بادرتِ المؤسساتُ المختصةُ بالإعمارِ والإسكانِ إلى دعمِ البرامجِ التي تهدفُ إلى توفيرِ المرافقِ من مبانٍ وطرقٍ وجسورٍ ومساكنَ ملائمةٍ لمواكبةِ هذا النموِّ وسدِّ الاحتياجات. هذا ما نلمسُه على أرضِ الواقعِ بوضوح، من خلالِ الميزانياتِ الضخمةِ المرصودةِ لهذا الأمر. وبسببِ الظروفِ المناخيةِ القاسيةِ التي تسودُ في بيئةِ دولةِ الإمارات، كالحرارةِ والرطوبةِ والتربةِ الملحية، تتأثرُ المباني بشكلٍ كبيرٍ وسريع، مما يوجبُ توخّي الدقةِ في اختيارِ موادِّ البناءِ لتتحملَ هذه الظروفَ، بالإضافةِ إلى الاهتمامِ الجادِّ بالصيانةِ المستمرةِ اللازمة. إننا نقرأُ ونسمعُ بين فترةٍ وأخرى عن سقوطِ أسقفِ بعضِ المنازلِ أو تشقق وتصدعِ الجدران، برغمِ حداثةِ بعضِ هذه الأبنية، فما السببُ في ذلك؟

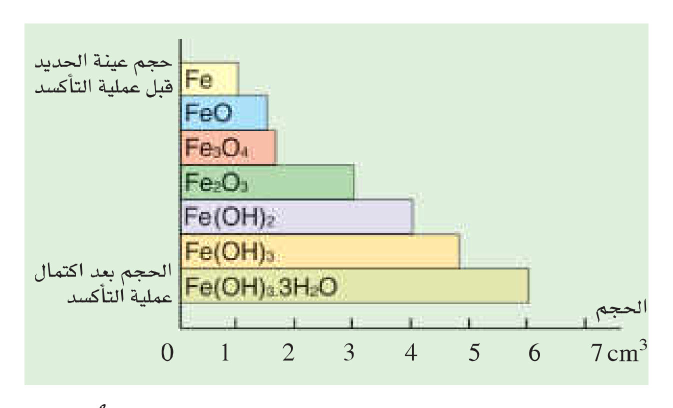
إنَّ الموادَّ الأساسيةَ الخامَ المستعملةَ في البناءِ هي الإسمنتُ الذي يشكلُ جزءًا من الخرسانة، والحديدُ والأخشاب. ويعدُّ الحديدُ أكثرَها تأثرًا بالوسطِ الذي يحيطُ به. فهو فلزٌّ، ومن المعروفِ أنَّ معظمَ الفلزّاتِ تتأثرُ وتتفاعلُ مع بعضِ مكوِّناتِ الوسطِ المحيطِ بها، كهواءِ الجوِّ أو غيرِهِ من الأوساطِ التي تسهمُ في ما يُسمّى بعمليةِ التأكسدِ أو التآكل.

ومن حسنِ الحظِّ أنَّ الفلزّات، نتيجةً لعمليةِ التأكسد، تتكونُ عليها طبقةٌ رقيقةٌ من الأكاسيد، فتغطي سطحَها الخارجيَّ وتمنعُ وصولَ العواملِ المؤكسدةِ إليها، وبالتالي تحميها وتقللُ من التآكل. وبالنسبةِ للقضبانِ الحديديةِ في المباني، هناك عاملٌ آخرُ يعززُ من حمايتِها، هو الخَرَسانةُ التي تُعدُّ وسطًا قلويًّا (بفضلِ تركيبِها الكيميائيِّ)، مما يقللُ من تفاعلِ الحديدِ مع الموادِّ الكيميائيةِ وخصوصًا الحمضيةَ منها التي تتسربُ إلى الخَرَسانةِ من الهواءِ أو المياهِ الجوفية.

لكنَّ هذين العاملينِ لا يمنعانِ عمليةَ التآكلِ تمامًا، لوجودِ فجواتٍ صغيرةٍ، وإن كانت مجهريةً، في سطوحِ الحديد، بالإضافةِ إلى ما يطرأُ من تغيُّرٍ على طبيعةِ الوسطِ القلويِّ للخَرَسانة، بسببِ تسرّبِ الموادِّ الحمضيةِ إليها.

### الآثارُ الناجمةُ عن تآكلِ القضبانِ الحديديةِ للمباني

ينتجُ من عمليةِ تأكسدِ قضبانِ الحديد، أي تآكلِها، أكاسيدُ الحديدِ وهيدروكسيداتُه، مما يؤدي إلى زيادةِ حجمِ الحديدِ حتى ستةِ أضعافٍ، كما يبينُ هذا الشكل:




يؤدي ذلك إلى الضغطِ على الخَرَسانةِ المحيطةِ بالقضبانِ الحديديةِ فتتشققُ في النهايةِ وتتصدعُ جدرانُ المبنى مع مرورِ الزمن.

### وسائلُ التقليلِ من تآكلِ الحديد

هناكَ عددٌ من الوسائلِ المتّبعةِ لهذا الغرضِ أهمها:

1. استخدامُ إسمنتٍ ذي تركيبٍ كيميائيٍّ مناسبٍ للبيئةِ المحلية.
2. تغطيةُ قضبانِ الحديدِ مباشرةً بغلافٍ واقٍ من الصدأ.
3. سدُّ الفجواتِ على قضبانِ الحديدِ بطلائها بموادَّ كيميائيةٍ خاصةٍ تمنعُ الصدأ، مثلِ الرمادِ والميكروسيلكا.
4. خلطُ الخَرَسانةِ بموادَّ مانعةٍ للصدأ.
5. طلاءُ أو تغطيةُ المباني وأسقفِها بمادّةِ القارِ لمنعِ تسرُّبِ الرطوبةِ والماءِ إلى موادِّ البناء.

## القســـم 3-1

### النواتجُ التعليمية

- يَستخدمُ الجدولَ الدوريَّ لتسميةِ العناصرِ من خلالِ رموزها.
- يَستخدمُ الجدولَ الدوريَّ لكتابةِ رموزِ العناصرِ من خلالِ أسمائها.
- يصفُ ترتيبَ الجدولِ الدوري.
- يضع قائمة بالخواص التي تُميِّز الفِلِزّاتِ واللافِلِزّاتِ وأشباهَ الفلزّاتِ من خلالِ خواصِّها.

# العناصر

قرأتَ سابقًا أنَّ العناصرَ موادُّ نقيةٌ لا يمكنُ تفكيكُها بالتغيُّرات الكيميائية. وهي تعملُ كوحداتٍ لبناءِ المادّة، ولكلٍّ منها خواصُّ مميَّزة. والعناصرُ بناءً على الخواصِّ الكيميائيةِ المتشابهةِ تُقسَمُ إلى زمر. هذه الزمرُ تُرتَّبُ في جدولٍ يُسمّى «الجدولَ الدوري للعناصر» ويَظهرُ في **الشكلِ 12-1**.

## مقدِّمةٌ للجدولِ الدوري

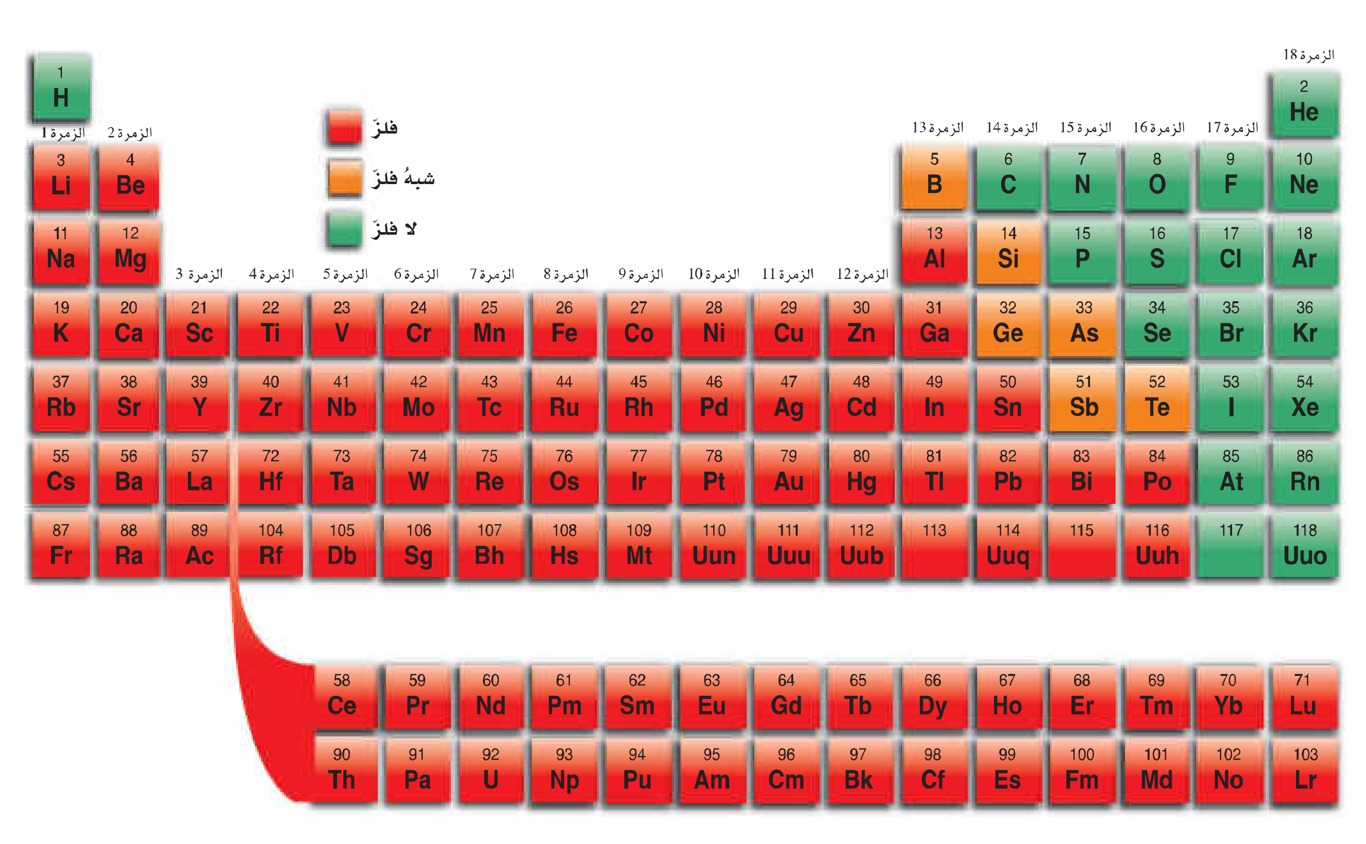
يُظهرُ كلُّ مربعٍ في الجدولِ الدوريِّ اسمَ عنصرٍ ورمزَهُ الكيميائيَّ: مثلاً، يمثِّلُ المربَّعُ الأولُ إلى أعلى اليسارِ العنصرَ 1، وهو الهيدروجين، ورمزُهُ الذريُّ H.

فإذا ألقيتَ نظرةً على الجدولِ الدوريِّ، ترى العديدَ من العناصرِ المألوفةِ: الحديد، الصوديوم، النيون، الفضة، النحاس، الألمينيوم، الكبريت والرصاص. وغالبًا ما يمكنُكَ أن تربطَ الرمزَ باسمِ العنصرِ في اللغةِ الإنكليزية، مع أنَّ بعضَ الرموزِ مشتقةٌ من الاسمِ القديمِ للعنصرِ الذي غالبًا ما يكونُ لاتينيًّا، فاسمُ تنجستِن مثلاً كان في الألمانيةِ Wolfram، ورمزُه W، و**الجدولُ 1-1** يدرجُ بعضَ أسماءِ هذه العناصر.

تُسمّى الأعمدةُ الرأسيةُ الرئيسةُ في الجدولِ الدوريِّ **الزمر** groups أو **العائلات** families. يوجدُ 18 زمرةً مرقمةً من اليسارِ إلى اليمين. وكلُّ زمرةٍ تحتوي على عناصرَ ذاتِ خواصَّ كيميائيةٍ متشابهة. فالعناصرُ في الزمرةِ 2 هي: البريليوم، المغنيسيوم، الكالسيوم، السترونشيوم، الباريوم، الراديوم. جميعُ هذه العناصرِ فلِزّاتٌ فعّالةٌ ذاتُ

**الجدول 1-1** عناصرُ ذاتُ رموزٍ تعتمدُ على أسماءٍ قديمة

| الاسم الحديث | الرمز | الاسم القديم |
|---|---|---|
| Antimony (أنتيمون) | Sb | stibium |
| Copper (نحاس) | Cu | cuprum |
| Gold (ذهب) | Au | aurum |
| Iron (حديد) | Fe | ferrum |
| Lead (رصاص) | Pb | plumbum |
| Mercury (زئبق) | Hg | hydrargyrum |
| Potassium (بوتاسيوم) | K | kalium |
| Silver (فضة) | Ag | argentum |
| Sodium (صوديوم) | Na | natrium |
| Tin (قصدير) | Sn | stannum |
| Tungsten (تنجستن) | W | wolfram |




**الشكل 12-1** الجدولُ الدوريُّ للعناصر.

ميولٍ متشابهةٍ إلى الارتباطِ بأنواعٍ أخرى من الذرات.

وتقسمُ العناصرُ إلى فئتينِ أساسيّتينِ، هما الفِلزّات واللافِلزّات. أما أشباهُ الفلزّاتِ فتجمعُ بينَ خواصِّ الفلزّاتِ واللافلزّات، والغازاتُ النبيلةُ هي في الحقيقةِ لافلزّات.

تُسمّى الصفوفُ الأفقيةُ في الجدولِ الدوريِّ **الدورات** periods. عبرَ كلِّ دورةٍ تتغيرُ الخواصُّ الفيزيائيةُ والكيميائيةُ بطريقةٍ منتظمة. العناصرُ القريبةُ من بعضِها ضمنَ الدورةِ الواحدةِ تميلُ إلى التشابهِ قياسًا على البعيدةِ عنها. ففي الدورةِ 2، مثلاً، يكونُ العنصرانِ الليثيوم والبريليوم في الزمرتينِ 1 و 2 على التوالي، متشابهي الخواصِّ، لكنّهما مختلفانِ تمامًا عن الفلورِ الموجودِ في الدورةِ نفسِها ضمنَ الزمرةِ 17.

تشكِّلُ زمرتا العناصرِ الموجودتانِ في أسفلِ الجدولِ الدوريِّ ما يُعرفُ بسلسلتَي اللانثنيدات والأكتنيدات.

وتنظَّمُ هاتانِ السلسلتانِ، في الجدولِ الدوريِّ، تحديدًا بعدَ العنصرينِ 57 و89 على التوالي. وقد وُضعتا في أسفلِ الجدولِ الدوري لتحاشي الزيادةِ في عرضِه.

## أنواعُ العناصر

يُقسمُ الجدولُ الدوريُّ بصورةٍ عامة إلى قسمينِ أساسيَّين: الفِلزّات واللافِلزّات. وكما هو مبيَّنٌ في **الشكل 12-1**، توجدُ الفلزّاتُ إلى يسارِ الجدولِ وفي وسطِه، وتوجدُ اللافِلزّات إلى اليمين. أما العناصرُ الواقعةُ على الخطِّ الفاصلِ فهي أشباهُ الفِلزّات، وخواصُّها فِلزِّيةٌ ولافِلزِّيةٌ معًا.

## الفِلِزّات

بعضُ خواصِّ الفِلِزّاتِ مألوفةٌ لديك، يمكنُكَ، مثلاً، التعرفُ إلى الفِلِزّات من لمعانِها أو بريقِها. إنَّ خاصةَ توصيلِ الحرارةِ والكهرباءِ هي أهمُّ خواصِّ الفِلِزّات. **الفِلِزُّ metal** عنصرٌ موصلٌ جيِّدًا للحرارةِ والكهرباء. عند درجةِ حرارةِ الغرفةِ تكونُ معظمُ الفِلِزّاتِ صلبة، قابلةً للطرقِ والتسطيحِ لتصبحَ صفائح. وهي أيضًا قابلةٌ للسحبِ، يمكنُ سحبُها وتحويلُها إلى أسلاكٍ دقيقة، لأنها مقاومةٌ للشدِّ، ولا تتكسرُ عند شدِّها.

ومع أنَّ معظمَ المعادنِ موصلةٌ جيِّدًا للكهرباءِ فإنَّ لبعضِها خواصَّ مختلفة. فالزئبقُ سائلٌ عند درجة حرارةِ الغرفةِ، بينما يتميّزُ التنجستنِ بدرجةِ حرارةِ انصهارٍ هي الأعلى بينَ جميعِ العناصر. وفلزّاتُ الزمرةِ 1 ليّنةٌ جدًّا بحيثُ يمكنُ قطعُها بسكينٍ، في حينِ أنَّ بعضَها كالكرومِ مثلاً، قاسٍ جدًّا. وإنَّ بعضَ الفِلِزّاتِ، كالمنغنيز والبزموث هشّةٌ سريعةُ الكسرِ، في حينِ تكونُ فلزّاتٌ أخرى كالحديدِ والنحاسِ صلدةً قابلةً للطرقِ والسحب. ومعظمُ الفِلِزّاتِ ذاتُ لمعانٍ فضيٍّ إلى رماديٍّ، بينما الذهبُ أصفرُ، والنحاسُ أحمرُ بُنِّيّ. في **الشكل 1-13** أمثلةٌ ونماذجُ من الفِلِزّات.

لنأخذِ النحاسَ مثلاً على الفِلِزّاتِ، فهذا الفِلِزُّ يتميزُ بخاصتينِ هما اللونُ الأحمرُ والبريقُ المعدنيُّ، ويوجدُ في الطبيعةِ على شكلِ معادنَ كالكلكوبيريت والملاكيت.

ينصهرُ النحاسُ النقيُّ عند درجة الحرارةِ 1083°C، ويغلي عند درجة الحرارةِ 2567°C. يمكنُ سحبُهُ أسلاكًا رفيعةً جدًّا، أو ضغطُهُ ليصبحَ رقائقَ خفيفة، وتُصنعُ من النحاسِ أنابيبُ مختلفةُ الأحجام. يوصلُ النحاسُ الكهرباءَ ولا يفقدُ سوى قليلٍ من الطاقة.

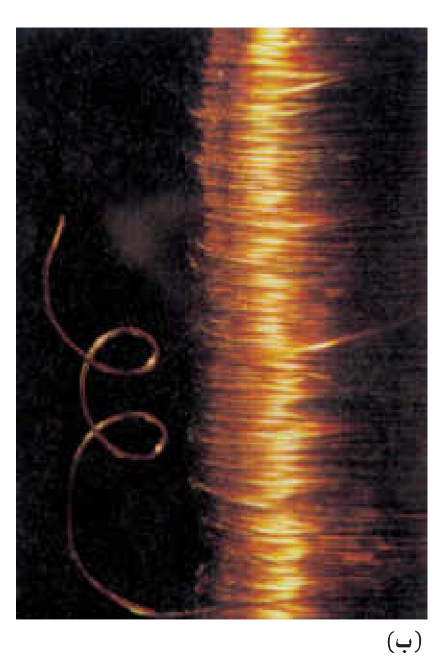
لا يتغيرُ النحاسُ في جوٍّ من الهواءِ الجافِّ عند درجةِ حرارةِ الغرفة. وعند تسخينِهِ يتحد مع أكسجينِ هواءِ الجوِّ لينتُجَ من ذلك أكسيدُ النحاس. ويتحدُ النحاسُ أيضًا مع الكبريتِ ومع عناصرِ الزمرةِ 17 في الجدولِ الدوريّ.

إنَّ الطبقةَ الخضراءَ التي تغطي سطحَ النحاسِ المعرَّضِ للهواءِ ناتجةٌ من اتِّحادِ النحاسِ مع الأكسجينِ وثنائي أكسيدِ الكربونِ وبعضِ مركَّباتِ الكبريت. يُعَدُّ النحاسُ من الفِلِزّات الضروريةِ للإنسان.

**الشكل 1-13** (أ) الذهبُ ذو نشاطيةٍ متدنيةٍ، ما يفسِّرُ وجودَهُ في الطبيعةِ بشكلٍ نقيٍّ نسبيًّا. (ب) النحاسُ يُستعملُ كأسلاكٍ لقابليتِهِ للسحبِ، وتوصيلِهِ الممتازِ للكهرباء. (ج) الألمينيومُ قابلٌ للطرقِ بحيثُ يمكنُ جعلُهُ رقائقَ خفيفةً يمكنُ استعمالُها في لفِّ الأطعمة.



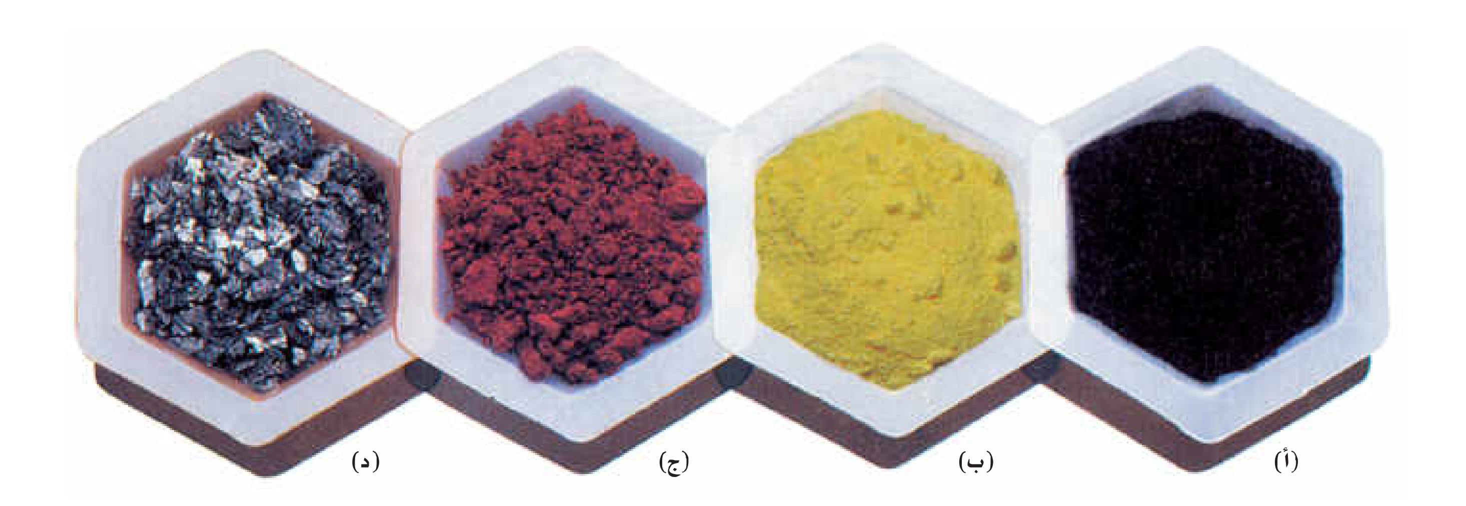
(أ)



(ب)



(ج)




**الشكل 1-14** عناصرُ لافلزّيةٌ مختلفةٌ: (أ) الكربون (ب) الكبريت (ج) الفوسفور (د) اليود.

## اللافلزّات

يوجدُ العديدُ من اللافلزّاتِ في الحالةِ الغازيةِ عند درجة حرارةِ الغرفة. من ضمن هذه اللافلزّات: النيتروجين، الأكسجين، الفلور، والكلور، لكنَّ البرومَ لافلزٌّ في حالةٍ سائلة. أما اللافلزّاتُ التي توجدُ في الحالةِ الصلبةِ فتشملُ: الكربون، الفوسفور، السلينيوم، الكبريت، واليود.

تميلُ اللافلزّاتُ الصلبةُ إلى أن تكونَ هشةً، وهي ليست قابلةً للطرقِ أو السحب، على عكس الفلزّات. لاحظْ بعضَ هذه اللافلزّاتِ في **الشكل 1-14**. يمكنُ استعمالُ خاصةِ رداءةِ التوصيل كتعريفٍ للافلزّات. **فاللافلزُّ** nonmetal إذنْ عنصرٌ ضعيفُ التوصيل للحرارةِ والكهرباء. وإذا نظرتَ إلى **الشكل 1-12** تجدُ أنَّ عددَ اللافلزّاتِ يقلُّ عن عددِ الفلزّات بصورةٍ إجمالية.

لنأخذِ الفوسفورَ مثلاً على اللافلزّات، فالفوسفورُ واحدٌ من اللافلزّاتِ الصلبةِ الخمسة. يتوافرُ الفوسفورُ النقيُّ في حالتين شائعتين، الفوسفورُ الأحمرُ وهو مسحوقٌ أحمرُ داكنٌ ينصهرُ عند درجة الحرارةِ 597°C، والفوسفورُ الأبيضُ، وهو صلبٌ شمعيٌّ، ينصهرُ عند درجة الحرارةِ 44°C ، ويشتعلُ في الهواءِ، لذا يُحفظُ عادةً مغمورًا تحتَ الماء.

للفوسفورِ نشاطيةٌ عالية، لذلك لا نجدُهُ نقيًّا في الطبيعة. وهو يوجدُ بكمياتٍ هائلةٍ في صخورِ الفوسفاتِ متحدًا مع الأكسجينِ والكالسيوم. من ناحيةٍ أخرى، تحتوي أجسامُ جميعِ الكائناتِ الحيّةِ على الفوسفور.

## أشباهُ الفلزّات

في الجدول الدوريّ تُفصلُ الفلزّاتُ عن اللافلزّاتِ بخطٍّ متعرِّجٍ يشبهُ الدرج. والعناصرُ التي تقعُ على جانبي هذا الخطِّ تُعرفُ بأشباهِ الفلزّات.

**شبهُ الفلزّ** metalloid هو إذنْ عنصرٌ له بعضُ صفاتِ الفلزّاتِ وبعضُ صفاتِ اللافلزّات (**الشكل 1-15**). وكلُّ أشباهِ الفلزّاتِ صلبةٌ عند درجة حرارةِ الغرفة.

تمتازُ أشباهُ الفلزّاتِ بكونِها أقلَّ قابليةً للطرقِ من الفلزّات، لكنّها أقلُّ قابليةً للكسرِ من اللافلزّات. وبعضُ أشباهِ الفلزّات، كالأنتيمون، لها لمعانٌ فلزّيّ.



**الشكل 1-15** السيلينومُ لا فلزٌّ مع أنه يبدو شبيهًا بالفلزّات.

تميلُ أشباهُ الفلزّاتِ إلى أن تكونَ شبهَ موصلةٍ للكهرباءِ، بمعنى أنَّ قابليتَها لتوصيل الكهرباءِ تقعُ وسطًا بين قابليةِ الفلزّاتِ وقابليةِ اللافلزّات. تُستعملُ أشباهُ الفلزّاتِ في






**الشكل 16-1** الغازاتُ النبيلة: الهيليوم، النيون، الأرجون، الكريبتون، والزينون، تُستعملُ لصنعِ لافتاتٍ مضيئةٍ بألوانٍ مختلفة.

تصنيعِ الموادِّ شبهِ الموصلةِ في أغطيةِ الحواسيبِ، والآلاتِ الحاسبةِ الصغيرة، وفي تصنيعِ الساعاتِ الرقميةِ والتلفزيونِ والراديو.

### الغازاتُ النبيلة

توضعُ الغازاتُ النبيلةُ في الزمرةِ 18 من الجدولِ الدوريّ. وهي ذاتُ نشاطيَّةٍ مُنخفضةٍ (خاملة). لم يُعرفْ منها أيُّ مركَّبٍ قبلَ سنةِ 1962. في تلك السنةِ تمَّ تحضيرُ أولِ مركَّبٍ من غازٍ نبيل، هو رباعيُّ فلوريد الزينون.

بسببِ النشاطيةِ المتدنيةِ للغازاتِ النبيلةِ، بقيتْ هذه الغازاتُ منفصلةً عن مجموعاتِ العناصرِ الأخرى. جميعُ عناصرِ الزمرةِ 18 غازاتٌ عند درجة حرارةِ الغرفة. ويُستخدمُ كلٌّ من النيون والأرجون والكريبتون والزينون في الإضاءة (**الشكل 16-1**). أما الهيليوم فيُستخدمُ في بالوناتِ الحفلاتِ ومناطيدِ الطقس، لأنه أقلُّ كثافةً من الهواء.

## مراجعةُ القسم 3-1

1. استعنْ بالجدولِ الدوريِّ لكتابةِ أسماءِ العناصرِ ذاتِ الرموزِ التالية: O، S، Cu، Ag.
2. استعنْ بالجدولِ الدوريِّ لكتابةِ رموزِ العناصرِ التالية: الحديد، النيتروجين، الكالسيوم، الزئبق.
3. أيُّ العناصرِ تتبعُ النوعَ ذاتَه من التفاعلات، عناصرُ المجموعاتِ أم عناصرُ الدورات؟
4. ما الفروقَ الأساسيةَ بين الفِلزّات واللافلزّاتِ وأشباهِ الفِلزّات؟

## قراءة علمية

# الفِلِزّاتُ الثمينة





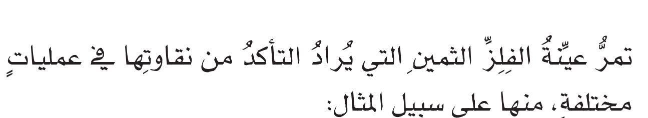
تأتي أهميةُ الفِلِزّاتِ الثمينةِ، الذهبِ والفضةِ والبلاتين، لتأثيرها الكبيرِ في الجانبِ الاقتصاديِّ للمجتمع، إذ يلعبُ الذهبُ على نحوٍ خاصٍّ دورًا مهمًا بوصفِهِ احتياطيًا تتخذُهُ البنوكُ والمؤسساتُ الماليةُ غطاءً للعملاتِ في النظامِ الماليِّ، بالإضافةِ إلى تجارةِ المشغولاتِ والسبائك.

وتحتلُّ دولةُ الإماراتِ العربيةِ المتحدةِ المرتبةَ الثالثةَ عشرةَ في العالم، والثانيةَ خليجيًّا من حيثُ استيرادِ الذهب. وإذا أخذنا بعينِ الاعتبارِ عددَ سكّانِ دولةِ الإماراتِ العربيةِ البالغَ 2.9 مليون نسمة (إحصائية عام 2000 م)، لوجدنا أنها أكثرُ دولةٍ مستهلكةٍ للذهبِ بالنسبةِ لنصيبِ الفردِ فيها. فنسبةُ عددِ السكّانِ إلى الطلبِ على الذهبِ هي 27 جرامًا للفردِ الواحد، في حين يبلغُ استهلاكُ الفردِ في المملكةِ العربيةِ السعوديةِ على سبيلِ المقارنة 15 جرامًا للفردِ الواحد.

وبسببِ هذه المكانةِ المهمةِ في اقتصادِ الدولةِ، صدرَ قانونٌ اتحاديٌّ سنةَ 1993 يتعلقُ بالرقابةِ على الاتجارِ بالفِلِزّاتِ الثمينةِ والأحجارِ القيِّمةِ ودمغِها في المختبر، وإصدارِ شهاداتِ فحصٍ بمطابقتِها للشروطِ المطلوبةِ وضمانِ جودتِها. وتطبيقًا لهذا القانونِ تمَّ إنشاءُ مختبراتٍ متخصصةٍ تقدِّمُ الخدماتِ التالية:

- فحصَ وتحليلَ المشغولاتِ والسبائكِ الذهبيةِ والفضيةِ والبلاتينية.
- دَمْغَ المشغولاتِ الذهبيةِ والفضيةِ والبلاتينيةِ بعلاماتِ الدمغةِ الرسميةِ. وتتمُّ هذه العمليةُ بطريقتين: إما بالطريقةِ التقليديةِ أو بجهازِ الليزر.

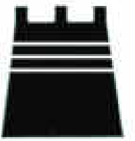
توضحُ الأشكالُ التاليةُ علامةَ الشارةِ التي تعبِّرُ عن نوعِ الفِلِزِّ الثمين:



البلاتين



الذهب



الفضة

تمرُّ عيِّنةُ الفِلِزِّ الثمينِ التي يُرادُ التأكدُ من نقاوتِها في عملياتٍ مختلفةٍ، منها على سبيلِ المثال:

1. **تحاليلُ الكيمياءِ الرطبةِ** التي تستخدمُ أجهزةً منها جهازُ المعايرةِ الآليّ (Potentiometer)، وهو مخصَّصٌ لتحليلِ الفضةِ فقط.
2. **جهازُ مطيافِ الانبعاثِ الذريِّ** (ICP-AES) لفحصِ الذهبِ والبلاتين.



جهازُ الدمغِ بالليزر



جهازُ مطيافِ الانبعاثِ الذري



جهازُ المعايرةِ الآليِّ للفضة

# مراجعةُ الفصل 1

## ملخّصُ الفصل

### 1-1

- الكيمياءُ هي العلمُ الذي يُعنى بدراسةِ تركيبِ المادةِ وبنيتِها وخواصِّها وتغيُّراتِها.
- تُصنَّفُ الكيمياءُ ضمنَ العلومِ الفيزيائية، وتُحدَّدُ مجالاتُها في ستةِ حقولٍ هي: الكيمياءُ العضوية، الكيمياءُ اللاعضوية، الكيمياءُ الفيزيائية، الكيمياءُ التحليلية، الكيمياءُ الحيويَّة، والكيمياءُ النظرية.
- المادةُ الكيميائيةُ هي كلُّ مادّةٍ لها تركيبٌ محددٌ وتُستعملُ في عمليةٍ كيميائيةٍ أو تُنتَجُ منها.
- تُجرى البحوثُ الأساسيةُ من أجلِ زيادةِ المعرفة. وتهدفُ البحوثُ التطبيقيةُ إلى حلِّ مسائلَ عملية. أمّا التطوُّر التكنولوجيُّ فيُعنى باستعمالِ المعرفةِ المتوفرةِ لجعلِ الحياةِ أكثرَ سهولةً وراحة.

**المفردات**

| | |
|---|---|
| الكيمياء | (7) chemistry |
| مادة كيميائية | (8) chemical |

### 2-1

- كلُّ مادّةٍ هي ذاتُ كتلةٍ وتحتلُّ حيزًا. والكتلةُ هي إحدى مقاييس كمّيةِ المادّة (يُحدَّدُ هذا المقياسُ بالوزنِ أي بمقدارِ جذبِ الأرضِ لتلك المادّة).
- يتألفُ العنصرُ من نوعٍ واحدٍ من الذرّات. وتتألفُ المركَّباتُ من اثنينِ أو أكثرَ من العناصر، ولكلِّ مركبٍ نقيٍّ نِسبٌ محددةٌ من العناصر.
- لكلِّ الموادِّ خواصٌّ مميَّزةٌ تساعدُ الكيميائيينَ على معرفةِ هذه الموادِّ وفصلِ بعضِها عن بعض.
- يمكنُ ملاحظةُ الخواصِّ الفيزيائيةِ للموادِّ وقياسُها من دونِ أيِّ تغيرٍ في هُويّةِ المادّة. فالتغيراتُ الفيزيائيةُ لا تشملُ التغييرَ في الهُويَّة.
- الحالاتُ الأساسيةُ الثلاث للمادّةِ هي: الحالةُ الصلبة والحالةُ السائلةُ والحالةُ الغازية. وتختلفُ جزيئاتُ المادّةِ في الحالاتِ الثلاثِ باختلافِ قربِها من بعضِها وسهولةِ انسيابِها. إنَّ تحوُّلَ الحالةِ عند الانصهارِ (من صلبةٍ إلى سائلةٍ)، وعند الغليانِ (من سائلةٍ إلى غازيةٍ)، هو من التغيُّراتِ الفيزيائية.
- تشيرُ الخواصُّ الكيميائيةُ إلى قابليةِ المادةِ لتغيُّراتٍ تشملُ تركيبَها وهُويَّتَها. وتشملُ التغيُّراتُ الكيميائيةُ أو «التفاعلاتُ الكيميائيةُ» تغيُّراتٍ في هُويّةِ المادّة.
- يلازمُ التغيُّراتِ الفيزيائيةَ والكيميائيةَ تغيرٌ في الطاقة. يمكنُ للطاقةِ أن تتحررَ أو تُمتصَّ أو تتحوَّلَ من شكلٍ إلى آخر، لكنها لا تَفنى ولا تُستحدث.
- يمكنُ تصنيفُ المادّةِ في مخاليطَ وموادَّ نقيّة. تختلفُ الموادُّ النقيّةُ عن المخاليطِ بأنَّ المادّةَ النقيّةَ لها تركيبٌ محدّدٌ لا يتغيَّر. وتُعَدُّ المحاليلُ مخاليطَ متجانسة.

**المفردات**

| | |
|---|---|
| تغيُّرُ الحالة | (11) change of state |
| تغيُّرٌ كيميائي | (13) chemical change |
| تغيُّرٌ فيزيائي | (11) physical change |
| تفاعلٌ كيميائي | (13) chemical reaction |
| خاصةٌ تعتمدُ على كميةِ المادّة | (11) extensive property |
| خاصةٌ لا تعتمدُ على كميةِ المادّة | (11) intensive property |
| خاصةٌ كيميائية | (13) chemical property |
| خاصةٌ فيزيائية | (11) physical property |
| خليط | (15) mixture |
| ذرة | (10) atom |
| سائل | (12) liquid |
| صلب | (12) solid |
| عنصر | (10) element |
| غاز | (12) gas |
| كتلة | (10) mass |
| مادّة | (10) matter |
| مادّةٌ نقية | (16) pure substance |
| متفاعل | (13) reactant |
| مركّب | (11) compound |
| ناتج | (13) product |

### 3-1

- لكلِّ عنصرٍ رمزٌ فريد (خاصٌّ به). يُظهرُ الجدولُ الدوريُّ العناصرَ مصنَّفةً وفقًا لخواصِّها الكيميائية. فتمثِّلُ الأعمدةُ في الجدولِ زمرٍ أو عائلاتِ العناصرِ ذاتِ الخواصِّ الكيميائيةِ المتشابهة. تختلفُ الخواصُّ تبعًا للصفوفِ الأفقيةِ أو «الدورات».
- يمكنُ تصنيفُ العناصرِ في أربعِ زمرٍ: فِلزّات، لافِلزّات، أشباهِ فِلزّات، وغازاتٍ نبيلةٍ، وهي تحتلُّ مساحاتٍ مختلفةً في الجدولِ الدوري. تميلُ الفِلزّاتُ إلى أن تكونَ برّاقةً، قابلةً للطرقِ والسحبِ وموصلةً جيدةً للكهرباء. لأشباهِ الفِلزّاتِ خواصٌّ وسطيةٌ بين الفِلزّاتِ واللافِلزّات. فهي إجمالاً تميلُ إلى أن تكونَ شبهَ موصلةٍ للكهرباءِ، بينما تميلُ اللافِلزّاتُ إلى أن تكونَ هشةً وموصلةً رديئةً للكهرباء. أما الغازاتُ النبيلةُ فهي عناصرُ غيرُ نشطةٍ كيميائيًّا.

**المفردات**

| | |
|---|---|
| دورة | (21) period |
| شبه فِلزّ | (23) metalloid |
| عائلة | (20) family |
| فِلزّ | (22) metal |
| لا فِلزّ | (23) nonmetal |
| زمرة | (20) group |

## مراجعةُ المفاهيم

1. ما تعريفُ الكيمياء؟
2. أيُّ فرعٍ من الكيمياءِ يُعنى بدراسةِ مركَّباتِ الكربون؟
3. ماذا تعني المادةُ الكيميائيةُ من وجهةِ نظرِ العلماء؟
4. اشرحْ باختصارٍ الفرقَ بين البحثِ الأساسيِّ والبحثِ التطبيقيِّ والتطورِ التكنولوجيّ، وأعطِ مثالاً على كلٍّ منها.
5. أ. ما تعريفُ الكتلة؟
   ب. ما تعريفُ الحجم؟
6. بمَ يختلفُ تركيبُ المادةِ النقيةِ عن تركيبِ الخليط؟
7. كيف تُستعملُ الخواصُّ لتصنيفِ الموادّ؟
8. ما الفرقُ بين الخاصَّتَين extensive وintensive ؟
9. أ. عرِّفِ الخاصّةَ الفيزيائية.
   ب. أعطِ مثالين على خواصَّ فيزيائية.
10. أ. عرِّف الخاصّةَ الكيميائية.
    ب. أعطِ مثالين على خواصَّ كيميائية.
11. ميِّزْ بين التغيُّرِ الفيزيائيِّ والتغيُّرِ الكيميائيّ؟
12. أ. سمِّ الحالاتِ الثلاثَ للمادّة؟
    ب. فيمَ يختلفُ الصُّلبُ عن السائل؟
    ج. فيمَ يختلفُ السائلُ عن الغاز؟
    د. فيمَ يتشابهُ السائلُ والغاز؟
13. ماذا يعني تغيُّرُ الحالة؟
14. كيف يتمُّ ترتيبُ العناصرِ في الجدولِ الدوريّ؟
15. قارنْ بين خواصِّ الفلزّاتِ واللافلزّاتِ وأشباهِ الفلزّاتِ والغازاتِ النبيلة.
16. في أيٍّ من فروعِ الكيمياءِ الستةِ يعملُ الباحثُ حيثُ اختصاصُه:
    أ. تفحُّصُ علاقاتِ الطاقةِ في تفاعلاتٍ مختلفة.
    ب. مقارنةُ خواصِّ الكحول بخواصِّ السكريّات.
    ج. درسُ التفاعلاتِ التي تحدُثُ أثناءَ هضمِ الطعام.
    د. القيامُ باختباراتٍ للتعرُّفِ إلى موادَّ مجهولة.
17. حدِّدِ الموادَّ المتفاعلةَ والموادَّ الناتجةَ في التفاعلِ التالي:

$$K + H_2O \rightarrow KOH + H_2$$

18. افترضْ أنَّ العنصرَ $X$ موصلٌ رديءٌ للكهرباءِ ويتكسَّرُ عند ضربِهِ بمطرقة، وأنَّ العنصرَ $Z$ موصلٌ جيِّدٌ للكهرباءِ والحرارة. في أيِّ موقعٍ ضمنَ الجدولِ الدوريِّ تتوقعُ أن تجدَ كلاًّ منهما؟
19. حدِّد صفةَ كلٍّ من التغيُّراتِ التاليةِ، أفيزيائيٌّ هو أم كيميائيّ، وعلِّل جوابَك:
    أ. قطعةُ خشبٍ تمَّ نشرُها إلى قسمين.
    ب. حليبٌ أصبحَ حامضًا.
    ج. زبدةٌ سائلةٌ تجمّدتْ لدى وضعِها في البراد.
20. استعملِ الجدولَ الدوريَّ لتصفَ كلاًّ من الرموزِ التاليةِ بما بما يناسبُه: فِلزّ أو لافلزّ أو غاز نبيل.
    أ. بوتاسيوم K
    ب. فضة Ag
    ج. سيليكون Si
    د. صوديوم Na
    هـ. زئبق Hg
    و. هيليوم He
21. عنصرٌ مجهولٌ برّاقٌ موصلٌ للكهرباء. ما الخواصُّ الأخرى التي يمكنُ أن تتوقَّعَها لهذا العنصر؟
22. صفْ كلاًّ من الأعمالِ التاليةِ بالصفةِ المناسبة: بحثٌ أساسيّ، بحثٌ تطبيقيّ، تطورٌ تكنولوجيّ:
    أ. تطويرُ غازِ تبريدٍ جديدٍ يكونُ أقلَّ ضررًا على البيئة.
    ب. تصنيعُ عنصرٍ جديدٍ بواسطةِ مُسرِّعٍ جزيئيّ.
    ج. رُقاقةُ حاسوبٍ أُعيدَ تصميمُها لزيادةِ سرعةِ الحاسوب.
23. استعنْ بالجدولِ الدوريِّ لتحديدِ رقمِ الزمرةِ ورقمِ الدورةِ الخاصّين بالعناصرِ التالية:
    أ. الكربون C
    ب. الأرجون Ar
    ج. الكروم Cr
    د. الباريوم Ba
    هـ. اليود I
    و. الذهب Au
24. أ. افترضْ أن أجزاءً مختلفةً من المادّةِ لها تراكيبُ مختلفة، بمَ يمكنُ أن تصفَ هذه المادّة؟
    ب. افترضْ أنَّ أجزاءً مختلفةً من المادّةِ لها التركيبُ نفسُه، ماذا يمكنُ أن تستنتجَ عن هذه المادة؟ علِّل جوابَك.

## بحثٌ وكتابة

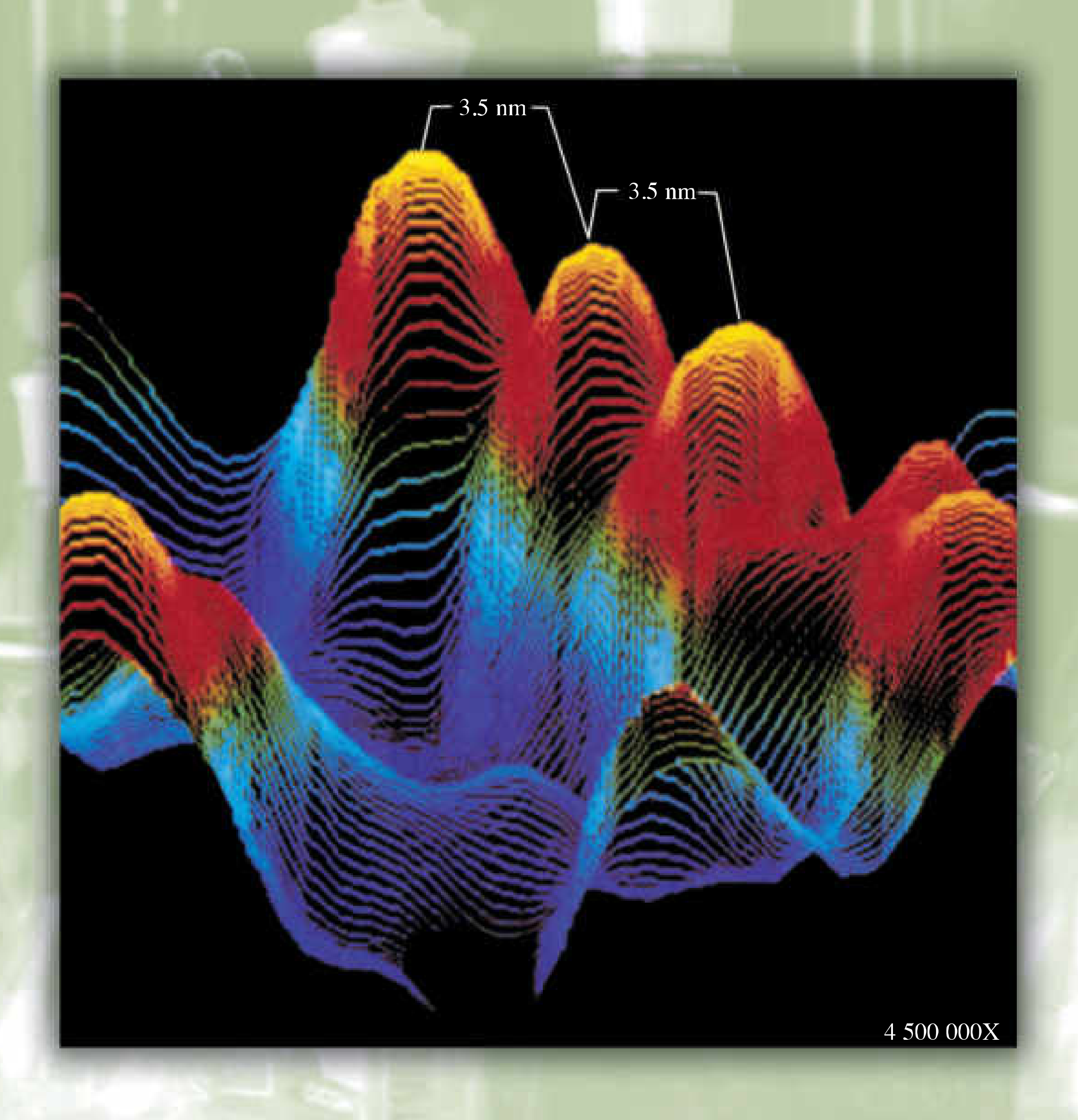
25. أجرِ بحثًا عن مُنتَجٍ تكنولوجيٍّ معاصرٍ أنتَ تختارُه. تحققْ من تصنيعِهِ واستعمالِه. تحققْ أيضًا من البحثِ الأساسيِّ والبحثِ التطبيقيِّ اللذين جعلا تطورَهُ ممكنًا.

## التقويمُ البديل

26. شكِّلْ لائحةً من كلِّ الأشياءِ المتغيِّرةِ التي تراها من حولكَ والتي تتعلقُ بالمادّةِ خلالَ ساعةٍ من الوقتِ، واذكرْ هل كانت هذه التغيُّراتُ فيزيائيةً أم كيميائيةً؟ علِّلْ أجوبتَك.

# الفصـــل 2

# القياساتُ والحسابات




## القياساتُ تعطي معلوماتٍ كمِّية

## القسم 1-2

### النواتجُ التعليمية

- يصفُ الهدفَ من المنهجِ العلميّ.
- يميِّزُ بين الملاحظاتِ الكمّيّةِ والنوعية.
- يصفُ الفرقَ بين الفرضياتِ والنظرياتِ والنماذج.

# المنهجُ العلميّ

يحصُلُ التطوّرُ العلميُّ، أحيانًا، عن طريقِ اكتشافاتٍ تأتي بالمصادفة. غيرَ أنَّ التطوُّرَ العلميَّ بمجملِهِ لم يتِمَّ إحرازُه إلا نتيجةَ القيامِ بأبحاثٍ خُطّط لها بعناية، واستخدَمَ فيها الباحثونَ الطريقةَ المسمّاةَ **المنهجَ العلميّ** scientific method. بهذهِ الطريقةِ تتِمُّ المقاربةُ المنطقيةُ لحلِّ المشكلاتِ من خلالِ الملاحظةِ، وجمعِ البياناتِ، ثم صياغةِ الفرضياتِ واختبارِها، ووضعِ النظرياتِ المدعومةِ بالبيانات.

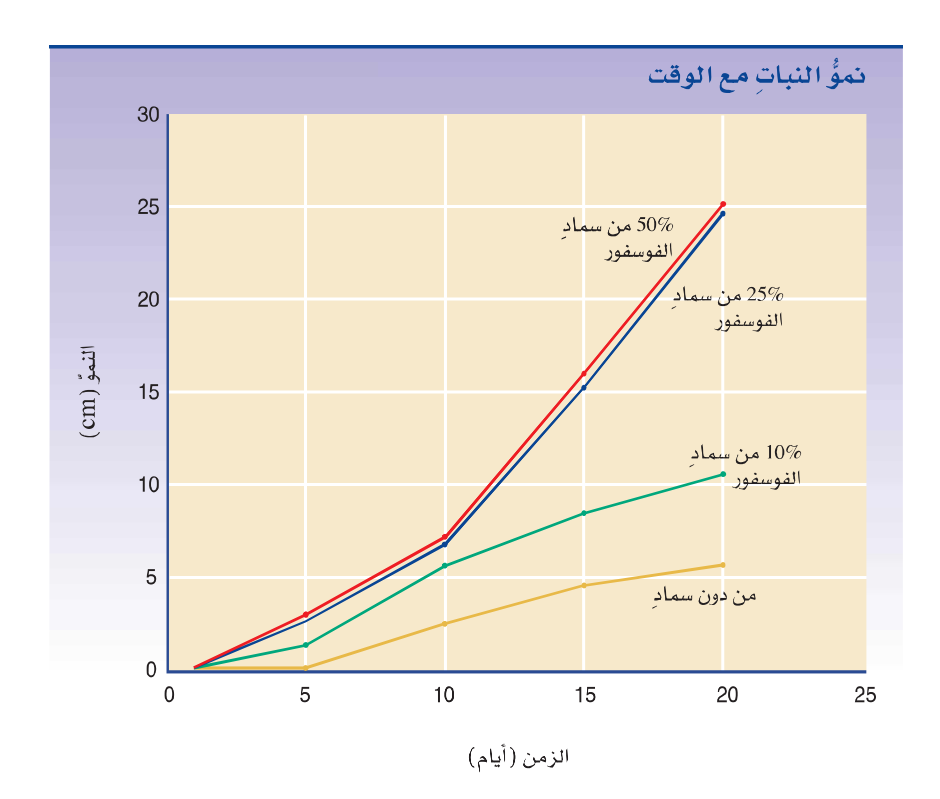
## الملاحظةُ وجمعُ البياناتِ وطرحُ السؤال

الملاحظةُ هي استخدامُ الحواسِّ في جمعِ البيانات، وتتضمنُ إجراءَ قياساتٍ وجمعَ بياناتٍ تكونُ بطبيعتِها وصفيةً (نوعية) أو كمّيةً (عددية). تكونُ المعلومةُ عدديةً عندما تقولُ، مثلا، إنَّ كتلةَ عيّنةٍ من النحاسِ الخامِ 25.7g، وتكونُ نوعيةً، غيرَ عدديةٍ، عند وصفِ السماءِ بأنها زرقاءُ مثلاً.

يتضمنُ الاختبارُ القيامَ بتجاربَ عمليةٍ بطريقةٍ منظَّمةٍ في ظلِّ شروطٍ مُحكمةٍ، بغيةَ استخلاصِ الملاحظاتِ وجمعِ البيانات (لاحظ **الشكل 1-2**). وللتعرُّفِ أكثرَ إلى المادّةِ، أخذَ الكيميائيونَ يتأمّلونَ ويدرسونَ الأنظمة. **فالنظامُ** system جزءٌ معيَّنٌ من المادّةِ في منطقةٍ تمَّ اختيارُها للبحثِ خلالَ عمليةِ الاختبارِ أو الملاحظة. عندما تراقبُ تفاعلاً كيميائيًّا في أنبوبةِ اختبار، تشكِّلُ هذه الأنبوبةُ، مع ما احتوتْ عليه، معنى النظام.



**الشكل 1-2** يصمِّمُ هذانِ المتعلّمانِ تجربةً لمعرفةِ كيفيةِ الحصولِ على أكبرِ حجمٍ من الفُشارِ باستخدامِ كمّيةٍ معينةٍ من حباتِ الذرة. وهما يعتقدانِ في هذهِ التجربةِ أنَّ الحجمَ يزدادُ مع ازديادِ رطوبةِ الحبوبِ. يتضمنُ الاختبارُ نقعَ بعضِ حبوبِ الذرةِ في الماءِ ومراقبةَ أحجامِ الفشارِ الناتجِ، ثم مقارنةَ ذلك بحبوبٍ لم يتِمَّ نقعُها في الماء.




**الشكل 2-2** يُظهرُ الرسمُ البيانيُّ العلاقةَ بين كميتين متغيرتين. هذا الرسمُ البيانيُّ يُظهرُ البياناتِ التي تمَّ جمعُها خلالَ اختبارٍ لتبيينِ فاعليةِ السمادِ الفوسفوريِّ في نموِّ النباتِ. الفرضيةُ المحتملَةُ التي يمكنُ تتبعُها تقول: إذا كان الفوسفورُ منشّطًا لنموِّ نباتِ الذرةِ يكونُ نموُّ نباتِ الذرةِ الذي جرتْ معالجتُهُ بمركّباتِ الفوسفورِ أسرعَ، في الظروفِ نفسِها، من نموِّهِ بلا المعالجة.

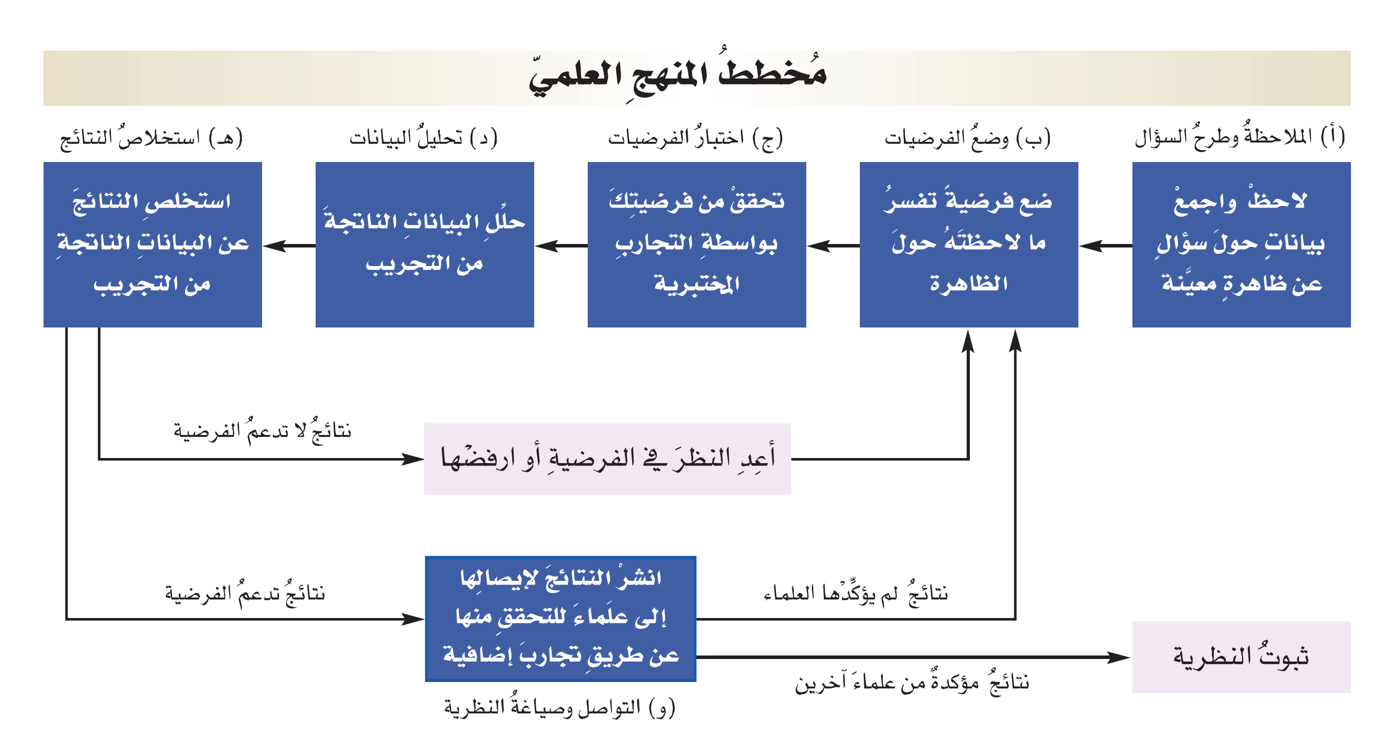
## وضعُ الفرضية

يحاولُ العلماءُ، عند قيامِهم بفحصِ ومقارنةِ البياناتِ الناتجةِ من تجاربِهم الشخصيةِ، استخلاصَ علاقاتٍ أو أنماطٍ توضعُ في تعميماتٍ منطقية. والتعميماتُ نصوصٌ تبنى على مجموعةٍ من المعلوماتِ، يتمُّ التوصلُ إليها من خلالِ تنظيمِ البياناتِ في جداولَ وتحليلِها باستخدامِ الإحصاءِ أو التقنياتِ الرياضية. وغالبًا ما يُستعانُ بالحاسوبِ أو بالرسومِ البيانيةِ للتوصلِ إلى ذلك.

ويلجأُ العلماءُ إلى التعميماتِ في صياغةِ **الفرضيةِ** hypothesis أو النصوصِ القابلةِ للاختبار. تُستعمل الفرضيةُ كأساسٍ لاستخلاصِ توقعاتٍ، أو للقيامِ بتجاربَ إضافية. تصاغُ الفرضيةُ عادةً بموجبِ الافتراضِ الاستنتاجيِّ «إذا - فإذنْ». ويشكلُ الاستنتاجُ المستهلُّ بـ «إذنْ» التوقّعَ الذي يقومُ عليه الاختبارُ من الأساس. يُظهر **الشكلُ 2-2** البياناتِ المجمَّعةَ لفحصِ الفرضية.

## اختبارُ الفرضية

يتطلَّبُ اختبارُ الفرَضيةِ إجراءَ تجاربَ تؤمِّنُ أدلّةً تدعمُ أو تدحضُ تلك الفرضيةَ أو النظرية. فهل يمكنُ القولُ إنَّ المعطياتِ في **الشكل 2-2** تدعمُ تلك الفرضية؟ إذا أظهرَ الاختبارُ عدمَ صحّةِ التوقع، لزمَ تغييرُ التعميمِ الذي بُنيَ عليه التوقعُ، أو وضعُهُ جانبًا. ولعلَّ رفضَ فرضيةٍ غيرِ مدعَّمةٍ بالبياناتِ اللازمة هو من أهمِّ وأصعبِ ما يواجهُهُ العلم.




**الشكل 3-2** المنهجُ العلميُّ ليس منظَّمًا بطريقة متدرجة الخطوات. يمكنُ للعلماءِ إعادةُ الخطواتِ نفسِها عدَّةَ مرّاتٍ قبلَ الحصول على براهينَ كافيةٍ لصياغة النظرية. يمكنُك أن ترى أنَّ كلَّ مرحلةٍ تمثِّل نشاطاتٍ عديدةً ومختلفة.

## تشكيلُ النظرية

إذا دلَّتْ نتائجُ التجاربِ على أنّ توقعاتِ الفرضيةِ صحيحةٌ، يحاولُ العلماءُ تفسيرَ الظاهرةِ التي يتمُّ درسُها من خلالِ بناءِ نموذجٍ لها. **والنموذجُ** model، من حيثُ المفهومُ العلميُّ، هو أكثرُ من مجرَّدِ جسمٍ ماديّ. إنه تفسيرٌ منطقيٌّ لكيفيةِ حدوثِ الظاهرةِ وللعلاقاتِ التي ترتبطُ بها الأحداثُ والمعطيات. والنماذجُ إمّا بصريةٌ أو لفظيةٌ أو رياضية. ومن أهمِّ النماذجِ الكيميائيةِ النموذجُ الذريُّ للمادّةِ الذي يبيَّنُ أنَّ المادّةَ مؤلّفةٌ من جسيماتٍ دقيقةٍ تدعى الذرات.

عندما يفسِّر النموذجُ عددًا من الظواهرِ بنجاحٍ يصبحُ جزءًا من النظرية. النموذجُ الذريُّ يشكلُ جزءًا من النظريةِ الذريةِ التي سندرسُها في الفصلِ الثالث. **النظريةُ** theory هي التعميمُ الذي يفسِّرُ مجموعةً من الوقائعِ أو الظواهر. والنظريةُ تُعدُّ ناجحةً إذا تمكنتْ من توقعِ نتائجَ لتجاربَ جديدة. في الكيمياءِ أمثلةٌ عديدةٌ على نظرياتٍ مهمّةٍ، سنعرضُ لها لاحقًا، كالنظريةِ الحركيةِ للجزيئات، ونظريةِ التصادم. يبيّنُ **الشكلُ 3-2** المكانَ الذي تحتلُّهُ النظريةُ في خطةِ المنهجِ العلميّ.

## مراجعةُ القسم 1-2

**1.** ما المنهجُ العلميّ ؟

**2.** أيٌّ من البياناتِ التالية يُعدُّ «كمِّيًا» :

أ. سائلٌ يطفو على وجهِ الماء

ب. معدنٌ قابلٌ للطرق

ج. سائلٌ درجةُ حرارتِه 55.6 °C

**3.** فيمَ تختلفُ الفرضياتُ عن النظريات؟

**4.** كيفَ ترتبطُ النماذجُ بالنظرياتِ وبالفرضيات ؟

**5.** ما مكوِّناتُ النظامِ في المخبارِ المدرَّجِ المبيَّنِ في الشكل 7-2 الصفحة 37 ؟

القســـم 2-2

## النواتجُ التعليمية

- يميّزُ بين الكمّيةِ والوحدةِ ومعيار القياس.
- يسمّي وحداتِ SI الخاصة بالطول، والكتلةِ، والوقتِ، والحجمِ، والكثافة.
- يميّزُ بين الوزنِ والكتلة.
- يُجري حساباتِ الكثافة.
- يحوّلُ نصَّ معادلةٍ إلى مُعامِل تحويل.

# وحداتُ القياس

القياساتُ معلوماتٌ كمّية، وليستْ مجرَّدَ أرقامٍ، حتى في حياتِنا اليومية. فلو أنَّ رئيسَ طُهاةٍ أرادَ كتابةَ وصفةٍ مكوِّناتُها 1 ملح، 3 سكر، 2 طحين، فلن يتمكنَ الطبّاخونَ من تطبيقِ الوصفةِ من دونِ معلوماتٍ إضافية. إنهم بحاجةٍ إلى معرفةِ ما يمثِّلُهُ العددُ 3، أهي ملاعقُ، أم أكوابٌ، أم أونصاتٌ، أم جراماتٌ، أم سواها من الوحدات؟

القياساتُ تمثلُ كمّيات. والكمّيةُ quantity هي كلُّ شيءٍ له مقدارٌ، أو حجمٌ، أو حاصل. والكمّية لا تعني القياس. فمثلاً، الكمّيةُ التي تملأُ الملعقة هي حجمٌ، والملعقةُ وحدةُ قياس. في بلادِنا تُعتبرُ الملعقةُ عِيارًا للقياسِ يكالُ به. وهكذا تُستعملُ وحداتُ القياسِ لمقارنةِ ما ينبغي قياسُهُ بحجمٍ معرَّفٍ سابقًا. بناءً عليه يتمثَّلُ كلُّ قياسٍ تقريبًا برقمٍ ووحدةٍ لتعريفه. ويتمُّ اختيارُ الوحدةِ بناءً على الكمّيةِ المرادِ قياسُها.

كانتِ الشعوبُ، في العصورِ الماضيةِ، تقيسُ المسافاتِ بعددِ الخطواتِ، وكانتِ الأقدامُ الأداةَ البارزة. فاتخذوا القدمَ وحدةَ قياسٍ للمسافات. لكنَّ هذه الطريقةَ لم تكنْ مرضيةً تمامًا، لأنَّ طولَ المسافةِ يختلفُ باختلافِ طولِ القدمِ المستعملة. وعندما تمَّ الاتفاقُ على عِيارٍ قياسيٍّ لطولِ القدمِ زالتِ البلبلةُ القائمةُ حولَ الطولِ الحقيقيِّ للقدمِ، ولم يعدْ مهمًّا من يقومُ بالقياسِ ما دامَ القياسُ المعياريُّ يُستعملُ بشكلٍ صحيح.

## النظامُ الدوليُّ للوحداتِ SI

اتفقَ جميعُ العلماءِ في العالمِ على نظامٍ موحَّدٍ للقياسِ سُمِّيَ بالفرنسيةِ Le Système International d'Unités واختصروه بـ SI.

اعتُمدَ هذا النظامُ، الذي يضمُّ سبعَ وحداتٍ أساسيةً تُشتقُّ منها بقيةُ الوحدات، سنةَ 1960، في مؤتمرٍ عامٍّ للأوزانِ والقياسات. وعلى الرغمِ من اعتمادِهِ ظلَّ بعضُ الكيميائيينَ يستخدمونَ وحداتٍ من خارجه. وقد وردَ بعضُها في هذا الكتاب.

عُرِّفتْ وحداتُ نظامِ SI من خلالِ عِياراتِ القياسات. وتكونُ العِياراتُ إما أجسامًا يسهلُ حفظُها وإعادةُ إنتاجِها وإمّا ظواهرَ طبيعيةً ذاتَ قيمةٍ ثابتة. والعِياراتُ ذاتُ أحجامٍ عمليةٍ للتداول، تحدِّد تداولَها منظّماتٌ دوليةٌ مختصّة. في الولاياتِ المتحدة، مثلاً، تقومُ المؤسسةُ الوطنيةُ للمعاييرِ والتكنولوجيا NIST بدورٍ مهمٍّ في الحفاظِ على المعاييرِ وأدواتِها ووضعِ المواثيقِ وأساليبِ الاستخدام. فمثلاً، تُكتبُ الأرقامُ على الشكلِ المتفقِ عليه دوليًّا، فيُكتبُ العددُ خمسةٌ وسبعونَ ألفًا بالرقمِ 75 000، وليسَ 75,000، لأنَّ الفاصلةَ في بلدانٍ أخرى تدلُّ على كسرٍ عشريّ.

**الجدول 2-1 الوحداتُ الأساسيةُ لنظام SI**

| الكمّية | رمزُ الكمّية | اسمُ الوَحدة | مختصرُ الوَحدة |
|---|---|---|---|
| الطول | $l$ | متر meter | m |
| الكتلة | $m$ | كيلوجرام kilogram | kg |
| الزمن | $t$ | ثانية second | s |
| درجةُ الحرارة | $T$ | كلفن Kelvin | K |
| مقدارُ المادة | $n$ | مول mole | mol |
| التيارُ الكهربائيّ | $I$ | أمبير ampere | A |
| شدةُ الإضاءة | $I_v$ | كانديلا candela | cd |

## وحداتٌ أساسيةٌ في نظامِ SI

**الجدولُ 2-1** يوضحُ وحداتِ القياسِ السبعَ الأساسيةَ ورموزَها. وجميعُ الوحداتِ الأخرى في نظامِ SI مشتقةٌ من هذهِ الوحداتِ الأساسية. في الوحداتِ المشتقةِ تتمُّ إضافةُ بادئة، أي مقطعٍ لفظيٍّ يسبقُ الوحدةَ الأساسيةَ ليحدِّد ما إذا كانت الكميةُ المقيسةُ أكبرَ أو أصغرَ من الوحدةِ الأساسية. فمثلاً في **الجدول 2-2** الذي يُدرِجُ بعضَ بادئاتِ نظامِ SI، إذا أخذتَ البادئةَ سنتي، ورمزُها (c)، تجدُ أنها تمثلُ عاملاً أُسِّيًّا هو $10^{-2}$ أي 1/100، فإذا وُضعتْ أمامَ الوحدةِ الأساسيةِ أي المترِ، تصبحُ الوحدةُ المشتقةُ سنتيمترًا، وهو يعادلُ $10^{-2}$ من المترِ، ورمزُهُ cm، وبذلكَ يكون:

$$1\ \text{cm} = 10^{-2}\ \text{m} = 1/100\ \text{m} = 0.01\ \text{m}$$

### الكتلة

الكتلةُ، كما تعلمتَ في الفصلِ الأوّلِ، مقياسٌ لكميّةِ المادّة. والوحدةُ القياسيةُ للكتلة، حسبَ نظامِ SI، هي الكيلوجرام kg. مقياسُ الكتلةِ المعرَّفُ في **الجدولِ 2-1** يُستخدمُ في تعييرِ الموازينِ في كلِّ أنحاءِ العالم.

تقدَّرُ كتلةُ الكتابِ النموذجيِّ بحوالي كيلوجرامٍ (kg) واحد. الجرامُ (gram) يمثلُ 1/1000 من الكيلوجرامِ kg، وهو وحدةٌ مفيدةٌ لقياسِ كتلِ الأجسامِ الصغيرةِ، مثل الأكوابِ والقواريرِ الصغيرة. وللأجسامِ الأصغرِ، كالكمِّياتِ الضئيلةِ من الموادِّ الكيميائيةِ، يمكنُ استخدامُ المليجرامِ (mg)، وهو ما يعادلُ جزءًا من ألفِ جزءٍ من الجرامِ 1/1000 g، أو واحدًا من مليونٍ من الكيلوجرامِ 1/1000000 kg.

وغالبًا ما يخلِطُ الناسُ بين الكتلةِ والوزنِ، لأنَّ أغلبَهُم يعبِّرونَ عن الوزنِ بالجرام. لكنَّ الكتلةَ تحدَّدُ بالمقارنةِ بين كتلةِ جسمٍ وكتلِ مجموعةٍ من عياراتِ الميزانِ وبها تقاس. أما **الوزنُ** weight فهو القياسُ لقوةِ جذبِ الأرضِ للجسمِ (الجاذبية الأرضية). والكتلةُ غيرُ الوزنِ، فهي لا تعتمدُ على الجاذبية. يقاسُ الوزنُ بزنبركٍ مدرَّجٍ (ميزانٍ زنبركي).

**الجدول 2-2 بادئات نظام SI**

| البادئة | | مختصرُ الوحدة | العاملُ الأسيّ | معناه (المكافئ العددي) | مثال |
|---|---|---|---|---|---|
| تيرا | tera | T | $10^{12}$ | 1 000 000 000 000 | تيرامتر واحد (Tm) = $1 \times 10^{12}$ متر |
| جيغا | giga | G | $10^{9}$ | 1 000 000 000 | جيغامتر واحد (Gm) = $1 \times 10^{9}$ متر |
| ميغا | mega | M | $10^{6}$ | 1 000 000 | ميغامتر واحد (Mm) = $1 \times 10^{6}$ متر |
| كيلو | kilo | k | $10^{3}$ | 1 000 | كيلومتر واحد (km) = 1000 متر |
| هيكتو | hecto | h | $10^{2}$ | 100 | هيكتومتر واحد (hm) = 100 متر |
| ديكا | deka | da | $10^{1}$ | 10 | ديكامتر واحد (dam) = 10 متر |
| | | | $\mathbf{10^{0}}$ | **1** | **1 meter** متر |
| دسّي | deci | d | $10^{-1}$ | 1/10 | دسيمتر واحد (dm) = 0.1 متر |
| سنتي | centi | c | $10^{-2}$ | 1/100 | سنتيمتر واحد (cm) = 0.01 متر |
| ملّي | milli | m | $10^{-3}$ | 1/1000 | ملّيمتر واحد (mm) = 0.001 متر |
| ميكرو | micro | $\mu$ | $10^{-6}$ | 1/1 000 000 | ميكرومتر واحد ($\mu$m) = $1 \times 10^{-6}$ متر |
| نانو | nano | n | $10^{-9}$ | 1/1 000 000 000 | نانومتر واحد (nm) = $1 \times 10^{-9}$ متر |
| بيكو | pico | p | $10^{-12}$ | 1/1 000 000 000 000 | بيكومتر واحد (pm) = $1 \times 10^{-12}$ متر |
| فيمتو | femto | f | $10^{-15}$ | 1/1 000 000 000 000 000 | فامتومتر واحد (fm) = $1 \times 10^{-15}$ متر |
| آتو | atto | a | $10^{-18}$ | 1/1 000 000 000 000 000 000 | آتومتر واحد (am) = $1 \times 10^{-18}$ متر |

ويتضمنُ قياسُ الوزنِ معرفةَ مقدارِ شدِّ الجسمِ المرادِ وزنُهُ للزنبرك، وكلّما زادتْ قوةُ جاذبيةِ الأرضِ على الأجسامِ، يزيدُ وزنُ تلك الأجسام. لذا يكونُ وزنُ جسمٍ على القمرِ سدسَ وزنِهِ على الأرض.

### الطول

المترُ في نظام SI هو وحدةُ قياسِ الطول. ومسافةُ المترِ تعادلُ تقريبًا معدّلَ عرضِ بابٍ عاديّ. وللتعبيرِ عن مسافاتٍ أطول، يُستعملُ الكيلومتر km، وهو يعادلُ 1000 m. تدلُّ إشاراتُ الطرقِ، في بعضِ الدول، على المسافاتِ بالكيلومتراتِ أو بالأميال، فيما تُستعملُ وحدةُ الكيلومترِ لتدلَّ على مسافاتِ الطرقِ العامّةِ في أغلبِ دولِ العالم. وغالبًا ما يُستعملُ السنتيمترُ cm للدلالةِ على مسافاتٍ أقصر (**الشكل 2-4**). في **الجدول 2-2**، السنتيمترُ يعادلُ 1/100 m من المتر. فمثلاً، عرضُ هذا الكتابِ يزيدُ قليلاً عن 20 cm.

## وحداتُ نظامِ SI المشتقة

الكثيرُ من وحداتِ SI عبارةٌ عن مجموعاتٍ للكميّاتِ المبيَّنةِ في **الجدول 2-1**، بينما يشكلُ تجميعُ وحداتِ SI الأساسيةِ **الوحداتِ المشتقةَ** derived units، التي يظهرُ بعضُها في **الجدول 2-3**. نستنتجُ أنَّ الوحداتِ المشتقةَ ناتجةٌ من عمليةِ ضربٍ أو عمليةِ قسمةٍ للوحداتِ الأساسية (انظر **الشكل 2-5**). فمثلاً، وحدةُ المساحةِ هي وحدةٌ مشتقةٌ تساوي





**الشكل 4-2** المترُ وحدةُ قياس الطولِ في نظامِ SI، والسنتيمترُ (cm) وحدةٌ مشتقَّةٌ تُستعملُ في أغلبِ الأحيانِ لقياسِ الأبعادِ الصغيرة. ما عرضُ قطعةِ الألمينيومِ المستطيلةِ الظاهرةِ في الصورةِ، بالـ cm؟

حاصلَ ضربِ الطولِ بالعرضِ ويُعبَّرُ عنها بالمترِ المربَّعِ $m^2$، إذا قيسَ الطولُ والعرضُ بالمترِ m. ويدلُّ العمودُ الأخيرُ في **الجدولِ 3-2** على الطريقةِ التي تجمّعُ بها الوحداتُ الأساسيةُ للحصولِ على الوحداتِ المشتقة.

أُعطيتْ بعضُ الوحداتِ المشتقةِ أسماءً خاصةً بها، فمثلاً يقاسُ الضغطُ بوحدةٍ تُسمّى باسكال ($kg/m{\bullet}s^2$) مكوّنةٍ من الوحداتِ الأساسيةِ هذه: kg، m، s. ويمكنُ إضافةُ البادئاتِ للدلالةِ على الوحداتِ المشتقة. بعضُ المساحاتِ يمكنُ التعبيرُ عنها بالسنتيمتراتِ المربَّعةِ $cm^2$، أو المليمتراتِ المربَّعةِ $mm^2$، وهكذا.

**الجدول 3-2** وحداتُ SI المشتقة

| الكمّية | رمزُ الكمّية | الوحدة | مختصرُ الوحدة | الاشتقاق |
|---|---|---|---|---|
| المساحة | $A$ | مترٌ مربَّع | $m^2$ | طول x عرض |
| الحجم | $V$ | مترٌ مكعَّب | $m^3$ | طول x عرض x ارتفاع |
| الكثافة | $D$ | كيلوجرام / متر مكعَّب | $\frac{kg}{m^3}$ | كتلة / حجم |
| الكتلةُ المولية | $M$ | كيلوجرام / مول | $\frac{kg}{mol}$ | كتلة / كمِّيةُ المادة |
| التركيز | $C$ | عددُ المولات في اللِّتر | M | كمِّيةُ المادة / الحجم |
| الحجمُ المولي | $V_m$ | المترُ المكعَّبُ في المول | $\frac{m^3}{mol}$ | الحجم / كمِّيةُ المادة |
| الطاقة | $E$ | جول | J | القوة x الطول |




**الشكل 5-2** السرعةُ المسجَّلةُ في عدّادِ السرعةِ تمثلُ المسافةَ التي قُطعتْ في ساعة، وتَدُلُّ عليها وحدةٌ مشتقةٌ هي km /hour أو mile /hour.

## الحجم

**الحجمُ** volume هو الحيِّزُ الذي يشغلُهُ جسمٌ معيَّن. والوحدةُ المشتقةُ للحجمِ هي المترُ المكعَّب $m^3$. يعادلُ المترُ المكعَّبُ حجمَ مكعَّبٍ طولُ ضلعِهِ مترٌ واحد.

وهذه الوحدةُ كبيرةٌ وغيرُ مناسبةٍ للاستعمالِ في المختبرِ الكيميائيّ، فيستعاضُ عنها غالبًا بوحدةٍ أصغرَ هي السنتيمترُ المكعَّب $cm^3$. وبما أن المترَ الطوليَّ 100 cm، فالمترُ المكعَّبُ يساوي $1\,000\,000\ cm^3$.

$$1\ m^3 = \left(\frac{100\ cm}{1\ \cancel{m}}\right) \times \left(\frac{100\ cm}{1\ \cancel{m}}\right) \times \left(\frac{100\ cm}{1\ \cancel{m}}\right) = 1000\,000\ cm^3$$

يستخدمُ الكيميائيونَ لقياسِ أحجامِ السوائلِ والغازاتِ، في أغلبِ الأحيانِ، وحدةً من خارجِ نظامِ SI هي اللِّترُ Liter أو (L). يحتوي اللِّترُ الواحدُ على $1000\ cm^3$.

للسوائلِ وحدةُ قياسٍ أخرى تُستعملُ لقياسِ الأحجامِ الصغيرةِ هي المليلتر milliliter أو (mL). في كل لترٍ 1000 mL أو $1000\ cm^3$. يلاحَظ من ذلك أنَّ الوحدتينِ mL و$cm^3$ وحدتانِ متساويتانِ يمكنُ الاستعانةُ بإحداهما تبعًا للحالة، كما في **الشكل 6-2**.




**الشكل 6-2** يُشارُ هنا إلى العلاقةِ بين مختلفِ الأحجام. كلُّ لترٍ من السوائلِ يساوي 1000 mL، حيثُ كلُّ $1\ mL = 1\ cm^3$. سعةُ قارورةِ العطرِ هنا 15 mL. وفي المختبرِ يُستعملُ الدورقُ المعياريُّ (القياسيّ) والمخبارُ المدرَّجُ لقياسِ أحجامِ السوائل.

## الكثافة

الجسمُ المصنوعُ من الفلِّين أخفُّ وزنًا من جسمٍ مصنوعٍ من الرصاص لهُ الحجمُ نفسُه. إنك بصددِ المقارنةِ بين كتلِ الأجسامِ وأحجامِها، هذه الخاصةُ تُسمّى **الكثافةَ** density، والكثافةُ هي نسبةُ الكتلةِ إلى الحجم، أو الكتلةُ مقسومةً على الحجم. ويمكنُ كتابةُ العلاقةِ رياضيًّا على النحوِ التالي:

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}} \quad \text{أو} \quad D = \frac{m}{V}$$

حيثُ D = الكثافة وm = الكتلة وV = الحجم.

تُشتقُ وحدةُ الكثافةِ، في نظامِ SI، من الوحدتينِ الأساسيتين، الكتلةِ والحجم، وهما الكيلوجرامُ والمترُ المكعَّب. ويعبَّرُ عن الكثافةِ بهذه الصيغة: $kg/m^3$. لكنَّ هذه الوحدةَ كبيرةٌ وغيرُ مناسبةٍ للقياساتِ المخبرية، لذلك يُستعملُ في المختبرِ جرام/سنتيمتر مكعَّب ($g/cm^3$) أو g/mL . كما يُستعملُ g/L أو $kg/m^3$ في وصفِ كثافة الغازات.

الكثافةُ خاصةٌ فيزيائيةٌ تميِّزُ المادةَ، وهي لا تتوقَّفُ على حجمِ العيِّنة. فكلما زادت الكتلةُ زادَ الحجم، لذا تبقى نسبةُ الكتلةِ إلى الحجمِ ثابتة. تُستخدمُ خاصةُ الكثافةِ كذلك للتعرفِ إلى هُويّةِ المادّة. **والجدولُ 2-4** يُظهرُ كثافةَ بعضِ الموادِّ الشائعة. ترى فيه أنَّ كثافةَ الفلِّين $0.24\ g/cm^3$ وكثافة الماءِ 1 g/mL تقريبًا، أي أعلى، وهذا ما يفسِّرُ طفوَّ الفلِّين على سطحِ الماء. أما كثافةُ الرصاصِ فتبلغُ $11.35\ g/cm^3$، وهي أعلى من كثافةِ الماءِ، لذلك يرسو الرصاصُ في الماء.

في **الجدول 2-4** تمَّ تعيينُ درجاتِ الحرارةِ مع قياسِ الكثافة، لأنَّ الكثافةَ تتغيرُ بتغيُّرِ درجاتِ الحرارة. إنَّ معظمَ الأجسامِ تتمدَّدُ كلّما ازدادتْ درجاتُ حرارتِها، وذلك يزيدُ من حجمِها. بما أنَّ مقدارَالكثافةِ يساوي قسمةَ الكتلةِ على الحجم، لزمَ أن تتناقصَ الكثافةُ مع ازديادِ درجاتِ الحرارة.



**الشكل 2-7** الكثافةُ هي نسبةُ الكتلةِ إلى الحجم . يطفو على سطحِ الزئبقِ الماءُ وخُردقُ النحاس، لأنَّ الزئبقَ أعلى كثافةً منهما.

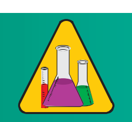
**الجدول 2-4 كثافةُ بعضِ الموادِّ الشائعة**

| المادّةُ الصُّلبة | | الكثافةُ ($g/cm^3$) عند درجة الحرارة 20°C | المادّةُ السائلة | | الكثافةُ (g/mL) عند درجة الحرارة 20°C |
|---|---|---|---|---|---|
| فلِّين | cork | 0.24* | غازولين | gasoline | 0.67* |
| زبدة | butter | 0.86 | كحول | ethyl alcohol | 0.791 |
| ثلج | ice | 0.92** | كروسين | kerosene | 0.82 |
| سكّر | sucrose | 1.59 | تربنتين | turpentine | 0.87 |
| عظم | bone | 1.85* | ماء | water | 0.998 |
| ماس | diamond | 3.26* | ماء البحر | sea water | 1.025*** |
| نحاس | copper | 8.92 | حليب | milk | 1.031* |
| رصاص | lead | 11.35 | زئبق | mercury | 13.6 |

* الكثافةُ النموذجية

** مقيسةٌ عندَ درجةِ الحرارةِ 0°C

*** مقيسةٌ عندَ درجةِ الحرارةِ 15°C



نشاط عملي سريع

# استقصاءُ كثافةِ قطعةٍ معدنية



ضعِ النظاراتِ الواقيةَ والبسِ المريول

## المواد

- ميزان
- مخبارٌ مدرَّج (100 mL)
- قطعة من النحاس الأصفر
- قطعة من النحاس الأحمر
- ماء

كثافة النحاس بحسب نسبة الخارصين فيه

| % Cu | % Zn | $d\ (g/cm^3)$ |
|---|---|---|
| 95 | 5 | 8.83 |
| 90 | 10 | 8.74 |
| 85 | 15 | 8.65 |
| 80 | 20 | 8.56 |
| 70 | 30 | 8.39 |
| 60 | 40 | 8.21 |

## الطريقة

1. زِن قطعة النحاس الأصفر. كرِّرِ العملَ مرتين أخريَين. سجِّل متوسِّطَ نتائجِ التجاربِ الثلاثِ لتحدِّدَ قيمةَ متوسِّطِ كتلةِ قطعةِ النحاس الأصفر.
2. كرِّرِ الخطوةَ 1 مع قطعة النحاس الأحمر.
3. صُبَّ 50 mL من الماءِ في المخبارِ المدرَّج. سجِّلْ حجمَ الماءِ الصحيح، ثم أضفِ قطعةَ النحاس الأصفر. سجِّلْ حجمَ الماءِ مع القطعة. كرِّرِ العمليةَ مرّتين، وحاولْ أن تحدِّدَ حجمَ القطعةِ في كلِّ تجربة. سجِّلْ متوسِّطَ نتائجِ التجاربِ الثلاثِ لتعرفَ قيمةَ متوسِّطِ حجمِ قطعةِ النحاس الأصفر.
4. كرِّرِ الخطوةَ 3 مع قطعة النحاس الأحمر.
5. راجعْ معطياتِك للتحقق من أيِّ فروقٍ كبيرةٍ في التجاربِ تزيد من الخطأِ في نتائجِك. كرِّرْ عندها القياسات.
6. احسبْ متوسِّطَ كثافةِ كلٍّ من قطعتَي النحاس باعتمادِ متوسطَيِ الحجمِ والكتلة.
7. قارنِ المتوسِّطَين اللذين حسبتَهما مع كثافةِ النحاس ($8.9\ g/cm^3$).
8. احسب نسبةَ الخارصين الموجودة في قطعة النحاس الأصفر. (استخدم الجدول المرفق.)

## المناقشة

1. لماذا يُفضَّلُ استخدامُ نتائجِ التجاربِ الثلاث بدلاً من تجربةٍ واحدةٍ في عملية حسابِ الكثافة؟
2. قارنْ بين كثافةِ النحاس الأحمر وكثافة النحاس الأصفر. كيف تعلّل هذا الفرق؟
3. استعملْ نتائجَ أبحاثِكَ لصياغةِ فرضيةٍ حول تركيبةِ كلٍّ من النحاس الأحمر والنحاس الأصفر. كيف يمكنُكَ اختبارُ هذه الفرضية؟

## مسألةٌ نموذجية 1-2

**احسب كثافةَ الألمنيوم من خلالِ عيّنةٍ منه كتلتُها 8.4 g، وحجمُها $3.1\ cm^3$.**

### الحلّ

**المعطى:** الكتلة = 8.4 g الحجم = $3.1\ cm^3$

**المجهول:** الكثافة

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}} \qquad \text{الكثافة} = \frac{8.4g}{3.1\ cm^3} = 2.7\ g/cm^3$$

### تمارينُ تطبيقية

1. كم تبلغُ كثافةُ قالبٍ من رخامٍ حجمُهُ $310\ cm^3$ وكتلتُهُ 853 g؟ **الجواب:** $2.75\ g/cm^3$
2. كثافةُ الماس $3.26\ g/cm^3$. كم تبلغُ كتلةُ قطعةٍ منه حجمُها $0.350\ cm^3$؟ **الجواب:** 1.14 g
3. جدْ حجمَ عيّنةٍ من الزئبق السائل كتلتُها 76.2 g علمًا بأنَّ كثافةَ الزئبقِ 13.6 g/mL. **الجواب:** 5.60 mL

# مُعامِلاتُ التحويل

**مُعاملُ التحويل** conversion factor نسبةٌ مستخرجةٌ من المعادلةِ بين وحدتينِ مختلفتينِ تُستعملُ للتحويلِ من وحدةٍ إلى أخرى. مثلاً، نفترضُ أنك تريدُ أن تعرفَ كم فلسًا في خمسةِ دنانير. كي تتمكنَ من الإجابةِ، تحتاجُ إلى معرفةِ عددِ الفلوسِ في الدينار الواحد. كلُّ دينارٍ قيمتُهُ 1000 فلس، هناك إذنْ 1000 فلسٍ لكلِّ دينار. يشارُ إلى هذه الوقائعِ بنسبٍ في ثلاثةِ مُعامِلاتِ تحويل:

$$\frac{\text{1 دينار}}{\text{1000 فلس}} = 1 \qquad \frac{\text{1000 فلس}}{\text{1000 فلس}} = 1 \qquad \frac{\text{1000 فلس}}{\text{1 دينار}} = 1$$

من الملاحظِ أنَّ كلَّ مُعاملِ تحويلٍ يساوي 1، والسببُ هو أنَّ التعادُلَ قائمٌ بين الكميتينِ المقسومتينِ في كلٍّ من مُعامِلاتِ التحويل، كما هي الحالُ هنا، حيثُ إنَّ 1000 فلس تعادلُ دينارًا واحدًا. وبما أنَّ مُعامِلَ التحويل يساوي 1 صارَ ممكنًا ضربُ القيمةِ بأيِّ مُعاملٍ في أيِّ معادلةٍ، ولا تسقطُ صحةُ المعادلة.

كلما أردتَ استعمالَ هذه المُعامِلاتِ للتحويلِ في أيِّ مسألةٍ بغيةَ تغييرِ الوحدةِ، يمكنُكَ تركيبُ المسألةِ في الصورةِ التالية:

مُعامِلُ التحويل x الكميةِ المعطاة = الكميةَ التي تبحثُ عنها

لكي تحددَ عددَ الفلوسِ في خمسةِ دنانير، تستعملُ مُعامِلَ تحويلِ الوحدةِ الذي يخوِّلُكَ تحويلَ الدينارِ إلى فلوس، كما يلي:

مُعامِلُ التحويل x 5 دينار = عددَ الفلوس

عليك الآنَ أن تقرِّرَ وتحدّدَ أيَّ مُعامِلِ تحويلٍ يعطيكَ الجوابَ بالوحدةِ المطلوبة. لديك 5 دنانيرَ وتريدُ عددَ الفلوس. للحصولِ على عددِ الفلوسِ تقسِمُ الألفَ فلسٍ على 1 دينار وتضرب في 5. يمكنكَ إذنْ ترتيبُ الحسابِ على الشكلِ التالي:

$$\frac{\text{1000 فلس}}{\text{1 دينار}} \times \text{5 دنانير} = \text{عدد الفلوس}$$

$$\text{5000 فلس} = \text{عدد الفلوس}$$



## استخراجُ مُعامِلِ التحويل

يمكنُكَ استخراجُ مُعامِلِ التحويلِ إذا عرفتَ العلاقةَ بينَ الوحدةِ المعلومةِ والوحداتِ المطلوبة. مثلاً، كلمةُ دسي deci تعني 1/10، ومعناه هنا أنَّ في الدسيمترِ dm الواحدِ 1/10 من المترِ، وأنَّ كلَّ مترٍ يقابلُهُ 10 dm. وإليكَ المعادلة: 1 m = 10 dm
وفي إمكانِكَ كتابةُ معاملاتِ التحويلِ التاليةِ لتربطَ بينَ المترِ والدسيمتر:

$$\frac{1\ \text{m}}{10\ \text{dm}} \text{ و } \frac{0.1\ \text{m}}{\text{dm*}} \text{ و } \frac{10\ \text{dm}}{\text{m}}$$

المسألةُ النموذجيةُ التاليةُ تشكلُ مثالاً على استخراجِ معاملِ التحويلِ للحصولِ على تحويلِ الوحدات.

**مسألةٌ نموذجية 2-1**

**عبِّرْ عن الكتلةِ 5.712 g بوحدةِ mg و kg.**

**الحلّ**

**المعطى:** 5.712 g

**المجهول:** الكتلةُ بوحدةِ gm و kg

إنَّ العلاقةَ التي تربطُ الجرامَ بالمليجرامِ هي:

$$1\text{g} = 1000\ \text{mg}$$

من هذه العلاقةِ يمكنُ استخلاصُ وكتابةُ معاملَي التحويل:

$$\frac{1000\ \text{mg}}{\text{g}} \text{ و } \frac{1\ \text{g}}{1000\ \text{mg}}$$

للحصولِ على جوابٍ بالمليجرامِ mg، عليكَ ضربُ 5.712 g بـ 1000 mg/g

$$5.712\ \text{g} \times \frac{1000\ \text{mg}}{\text{g}} = 5712\ \text{mg}$$

يُعدُّ هذا الجوابُ معقولاً لأنَّ وحدةَ المليجرامِ أصغرُ من وحدةِ الجرامِ، لذا كانَ لازمًا الحصولُ على رقمٍ أكبر.

* في هذا الكتابِ، عندما لا تجدُ رقمًا في المقامِ، قدِّرْ أنَّ الرقمَ الغائبَ هو 1 .

وتُحلُّ مسألةُ الكليوجرامِ بطريقةٍ مماثلة.

$$1\ kg = 1000\ g$$

مُعامِلا التحويل هما: $\frac{1000\ g}{kg}$ و $\frac{1\ kg}{1000\ g}$

للحصولِ على جوابٍ بالكليوجرامِ تضربُ 5.712 g بـ 1 kg/1000 g

$$5.712\ g \times \frac{1\ kg}{1000\ g} = 0.005712\ kg$$

هذا الجوابُ معقولٌ، لأنَّ الكليوجرامَ أكبرُ من الجرامِ، والجوابُ يحتوي على رقمٍ أصغر.

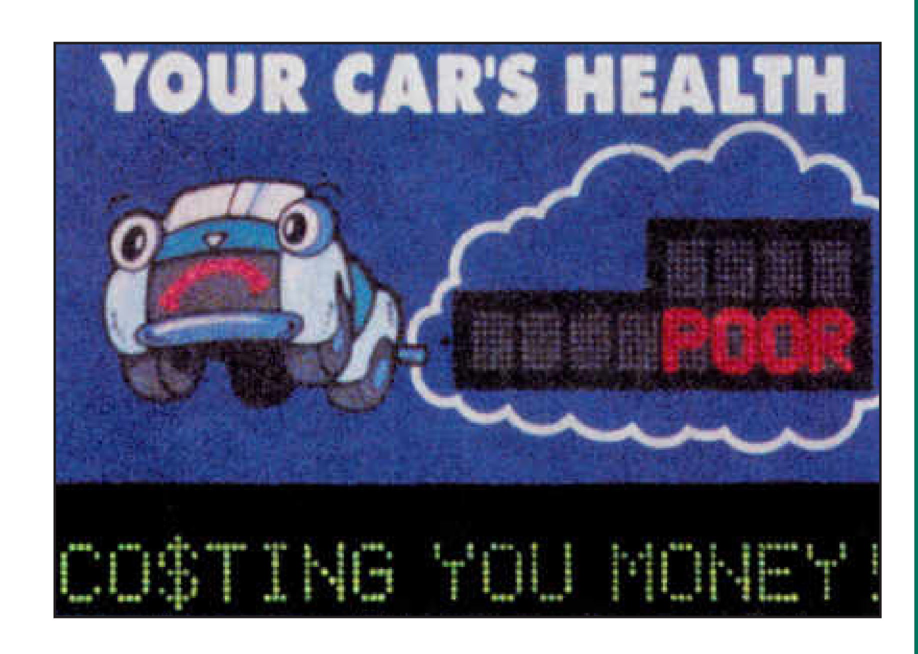
### تمارينُ تطبيقية

1. حوِّل وحدةَ الطولِ 16.45 m إلى cm و km — **الجواب:** 1645 cm، 0.01645 km
2. حوِّل الكتلةَ 0.014 mg إلى جرام. — **الجواب:** 0.000 014 g

## مراجعةُ القسم 2-2

1. ما حاجتُنا إلى العياراتِ عند قياسِ الكميات؟
2. اذكر نوعَ الكمّيةِ الممثّلةِ في كلٍّ ممّا يلي:
   - أ. 5.0 g/mL
   - ب. 37 s
   - ج. 47 J
   - د. 39.56 g
   - هـ. $25.3\ cm^3$
   - و. 325 ms
   - ز. $500\ m^2$
   - ح. 30.23 mL
   - ط. 2.7 mg
   - ي. 0.005 L
3. أكمل التحويلاتِ التالية:
   - أ. 10.5 g = ____ kg
   - ب. 1.57 km = ____ m
   - ج. 3.54 $\mu$g = ____ g
   - د. 3.5 mol = ____ $\mu$mol
   - هـ. 1.2 L = ____ mL
   - و. $358\ cm^3$ = ____ $m^3$
   - ز. 548.6 mL = ____ $cm^3$
4. اكتب مُعامِلاتِ التحويلِ المشارَ إليها في المعادلاتِ التالية:
   - أ. $1\ m^3 = 1\ 000\ 000\ cm^3$
   - ب. 1 in. = 2.54 cm
   - ج. 1 $\mu$g = 0.000 001 g
   - د. 1 Mm = 1 000 000 m
5. أ. ما كثافةُ عيِّنةٍ من مادّةٍ مجهولةٍ كتلتُها 84.7 g وحجمُها $49.6\ cm^3$؟
   ب. ما الحجمُ الذي يشغلُهُ 7.75 g من المادّةِ نفسِها ؟

# كاشف تلوث جانب الطريق




طوَّرَ الدكتور دونالد ستيدمان، وهو كيميائيٌّ في جامعةِ دنفر، جهازًا لمراقبةِ التلوثِ بانبعاثاتِ عوادمِ السياراتِ على الطرقِ السريعة.

يُثبَّتُ كاشفُ التلوثِ على جانبِ الطريق، ويُصدِرُ حزمةً من الأشعةِ تحت الحمراءِ على عرضِ الطريق. وبعد مرورِ الحزمةِ خلالَ أبخرةِ العادمِ تسقطُ على مرآةٍ دوّارةٍ مثبَّتةٍ على الجانبِ الآخرِ من الطريق. تعكسُ المرآةُ الضوءَ على أربعةِ مجسَّاتٍ مختلفة. وهذه المجسَّاتُ تتحسَّسُ الاختلافَ في شدةِ الحزمةِ الضوئية، فيعملُ كلُّ مجسٍّ على استعمالِ تلك المعلوماتِ لإجراءِ قياساتٍ مختلفة. يقيسُ أحدُ المجسَّاتِ كميةَ ثنائي أكسيدِ الكربونِ في العادم، ويحسبُ الثاني كميةَ أحادي أكسيدِ الكربونِ فيه، فيما يقومُ الثالثُ بقياسِ كميةِ الهيدروكربوناتِ التي تشكلُ معظمَ ناتجِ دخانِ العادم. ولضمانِ دقةِ القياسِ يقيسُ المجسُّ الرابعُ حزمةً ضوئيةً ضابطةً للمقارنة.

لدى مرورِ سيارةٍ على الطريقِ السريع، بمجردِ قطعِها للحزمةِ الضوئيةِ يقومُ الكاشفُ بقياسِ الهواءِ في مقدمِ السيارةِ مباشرةً ثم يقيسُ العادمَ بعد نصفِ ثانيةٍ من مرورِهِ للتأكدِ من أن الحزمةَ مرَّتْ في منتصفِ أبخرتِه. في اللحظةِ نفسِها تلتقطُ كاميرةُ ڤيديو صورةَ السيارة.

قام ستيدمان باختبارِ الكاشفِ فوضعَهُ في مخرجِ طريقٍ سريعٍ في دنفر. يُعطي الجهازُ لكلِّ سيارةٍ مارةٍ تقديرًا لشدةِ الانبعاثاتِ الصادرةِ عنها، ويعرضُ هذا التقديرَ بصورةٍ ذاتيةٍ على لوحةِ إعلاناتٍ قريبة.

فإذا قلّتْ نسبةُ أحادي أكسيدِ الكربونِ في عادمِ السيارةِ عن 1.3 % تحصلُ السيارةُ على تقديرِ «جيد». وإذا قلَّت هذه النسبةُ عن 4.5 % تحصلُ السيارةُ على تقديرِ «مقبول». وعندما تزيدُ النسبةُ عن 4.5% يكونُ التقدير «ضعيف».

وَجد ستيدمان أن لوحةَ الإعلاناتِ لا تقومُ فقط بإعلامِ الناسِ بأن سياراتِهم ملوَّثة، وإنما تحثُّهم على إصلاحِ هذه السيارات.

وحدَّدَ ستيدمان أن نسبةً صغيرةً من السياراتِ فقط مسؤولةٌ عن التلوثِ الناجمِ عن السياراتِ عمومًا. وفي الحقيقة، إن نصفَ التلوثِ الإجماليِّ الناجمِ عن السياراتِ ينشأُ عن 10 % فقط من السياراتِ المارةِ على الطريق.

أضاف ستيدمان: إن السائقينَ سيشتركونَ في حصةِ المنافعِ الاقتصاديةِ الناتجةِ عن إجراءاتِ النظافةِ هذه، فإذا كان لديك سيارةٌ شديدةُ التلويث، يضيف ستيدمان، فإنك ستعملُ على ادخارِ ما ستنفقُهُ على إصلاحِ السيارة من الاقتصادِ في الوقودِ على مدى سنتين، وذلك لحصولِكَ على توفيرٍ في استهلاكِ الوقودِ يصلُ إلى 15 % لدى إصلاحِكَ السيارةَ الشديدةَ التلويث.

1. كيف اعتقدَ الدكتورُ ستيدمان أن هذا الجهازَ ينفعُ المجتمعَ؟
2. هل تشعرُ بأن بحثَ الدكتورِ ستيدمان مهمٌ؟ ولماذا؟

## القســـم 2-3

# استعمالُ القياساتِ العلمية

عندما تقيسُ الشيءَ نفسَه عدةَ مرات، لا يتحتمُ أن تتطابقَ نتائجُ القياسِ المتكرر. ولكي تكونَ القياساتُ ذاتَ فائدةٍ علميًّا، يجبُ الاستنادُ إلى ما يدلُّ على أنَّ القياساتِ المسجلة صادقةٌ أو غيرُ مؤكدة.

### النواتجُ التعليمية

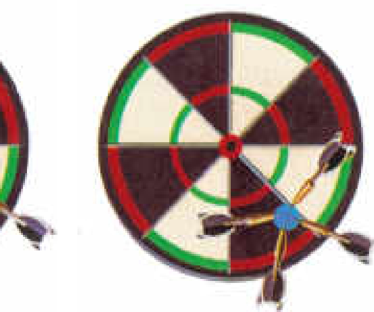
- يميِّزُ بين الدقةِ والضبط.
- يحدِّد عددَ الأرقامِ المعنويةِ للقياسات.
- يُجري العملياتِ الرياضيةَ المتضمِّنةَ أرقامًا معنوية.
- يُحوِّلُ القياساتِ إلى الترميزِ العلميّ.
- يُميِّزُ بين العلاقاتِ في التناسبِ الطرديِّ والتناسبِ العكسيّ.

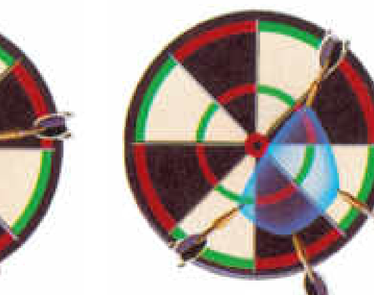
## الدقةُ والضبط

لا يجدُ معظمُ الناسِ فرقًا بين كلمتَيْ دقة وضبط. لكن، علميًّا، يختلفُ المعنيانِ بشكلٍ كبير. **فالدقةُ** accuracy تشيرُ إلى تطابقِ أو اقترابِ القيمةِ المقيسة من القيمةِ الصحيحة. أما **الضبطُ** precision فكلمةٌ تشيرُ إلى تقاربِ النتائجِ في مجموعةٍ من القياساتِ لكميةٍ واحدةٍ قيستْ بالطريقةِ نفسِها. وهكذا، تكونُ القيَمُ المقيسة دقيقةً عندما تكونُ أقربَ إلى القيمةِ الصحيحةِ وقد تكونُ القيَمُ المقيسة مضبوطةً أو متطابقةً، لكنْ دونَ أن تكونَ بالضرورةِ قريبةً من القيمةِ الصحيحة.

يصوِّرُ لك **الشكلُ 2-8** الفرقَ بين الدقةِ والضبط. عند قذفِ مجموعةِ أسهمٍ إلى لوحِ الرَّشْقِ الدائريِّ، يمكنُ أن تصيبَ الأسهمُ نِقاطًا يختلفُ قربُها من بعضِها، ومن وسطِ الدائرة. تكونُ الرمايةُ دقيقةً إذا اقتربتِ الأسهمُ من وسطِ الدائرة، وتكونُ مضبوطةً إذا اقتربتِ الأسهمُ من بعضِها. إذنْ يُظهرُ **الشكلُ 2-8** (أ) ضبطًا ودقةً عاليين لأنَّ الأسهمَ قريبةٌ من بعضِها ومن وسطِ الدائرةِ في الآنِ ذاتِه. بينما تبدو النتائجُ في **الشكل 2-8** (ب) مضبوطةً لكنْ غيرَ دقيقةٍ، لأنَّ الأسهمَ قريبٌ بعضُها من بعض، لكنها بعيدةٌ عن وسطِ الدائرة. أما النتائجُ في **الشكل 2-8** (ج)، فغيرُ دقيقةٍ وغيرُ مضبوطةٍ، لأنَّ الأسهمَ بعيدةٌ عن وسطِ الدائرةِ، وبعيدةٌ عن بعضِها في الوقتِ ذاتِه. من الملاحظِ أيضًا أنَّ الأسهمَ ليستْ موزعةً بالتساوي حولَ وسطِ الدائرة، فحتى إذا اعتمدنا المعدلَ تبقى المجموعةُ غيرَ دقيقة. وفي **الشكل 2-8** (د) تُعدُّ المجموعةُ بمعدَّلِها دقيقةً إذا ما قورنتْ بالحالةِ الثالثة،

**الشكل 2-8** يبيِّنُ الفرقَ بين الدقة والضبط، وفقًا لمساحةِ المنطقةِ المغطّاةِ بالأسهم.







**(أ)** الأسهمُ في منطقةٍ صغيرة = ضبطًا عاليًا
في منطقةِ مركزِ الدائرة = دقةً عالية

**(ب)** الأسهمُ في منطقةٍ صغيرة = ضبطًا عاليًا
في منطقةٍ بعيدةٍ عن مركزِ الدائرة = دقةً ضعيفة

**(ج)** الأسهمُ في منطقةٍ واسعة = ضبطًا ضعيفًا
في منطقةٍ بعيدةٍ عن مركزِ الدائرة = دقةً ضعيفة

**(د)** الأسهمُ في منطقةٍ واسعة = ضبطًا ضعيفًا
في منطقةٍ متمحورةٍ حولَ مركزِ الدائرة = دقةً عالية (في المعدّل)

لكنها غيرُ مضبوطةٍ، لأنَّ الأسهمَ بعيدةٌ عن بعضِها برغمِ توزيعِها المتساوي حولَ وسطِ الدائرة. مثالاً على ذلك، وزَنَ متعلِّمٌ كيسَ أرزٍّ كتلتُهُ الفعلية 2500 g، وحصلَ على القيَمِ التالية: 1790 g، 1770 g و 1782 g. من الواضحِ هنا، أنَّ هذه القيَمَ متقاربةٌ من بعضِها، هي إذنْ مضبوطة، لكنها غيرُ دقيقةٍ لأنها بعيدةٌ عن القيمةِ المقبولة (2500 g).

## النسبةُ المئويةُ للخطأ

تتمُّ المقارنةُ بين درجةِ الدقة لقيمةٍ فرديةٍ، أو معدَّلِ قيمٍ مأخوذةٍ من تجربةٍ تكررتْ ضمنَ الشروطِ نفسِها، وبين القيمةِ المقبولةِ أو الصحيحةِ من خلالِ حسابِ **النسبةِ المئويةِ للخطأ** percent error. تُحسبُ النسبةُ المئويةُ للخطأِ بطرحِ القيمةِ المقيسة. التي نحصل عليها بالتجربة، من القيمةِ المقبولة، وقسمةِ الحاصلِ (الفرق) على القيمةِ المقبولة، ثم بضربِ حاصلِ القسمةِ بـ 100. وتُمثَّل هذه النسبةُ بما يلي:

$$\% \text{ error} = \frac{\text{value}_{accepted} - \text{value}_{experimental}}{\text{value}_{accepted}} \times 100$$

$$\text{النسبة المئوية للخطأ} = \frac{(\text{القيمة المقيسة - القيمة المقبولة})}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100$$

تكونُ قيمةُ النسبةِ المئويةِ للخطأِ موجبةً حين تكونُ القيمةُ المقبولةُ أكبرَ من القيمةِ المقيسة، وتكونُ سالبةً حين تكونُ القيمةُ المقبولةُ أقلَّ من القيمةِ المقيسة. وتوضِّحُ المسألةُ النموذجيةُ مفهومَ النسبةِ المئويةِ للخطأ.

### مسألةٌ نموذجية 2-3

**قاسَ متعلِّمٌ الكتلةَ والحجمَ لإحدى المواد، ثم حسَبَ كثافتَها، فكانتْ 1.40 g/mL. إذا كانت القيمةُ الصحيحةُ أو المقبولةُ للكثافةِ 1.36 g/mL، فكم تكونُ النسبةُ المئويةُ للخطأ في قياسِ المتعلِّم؟**

**الحلّ**

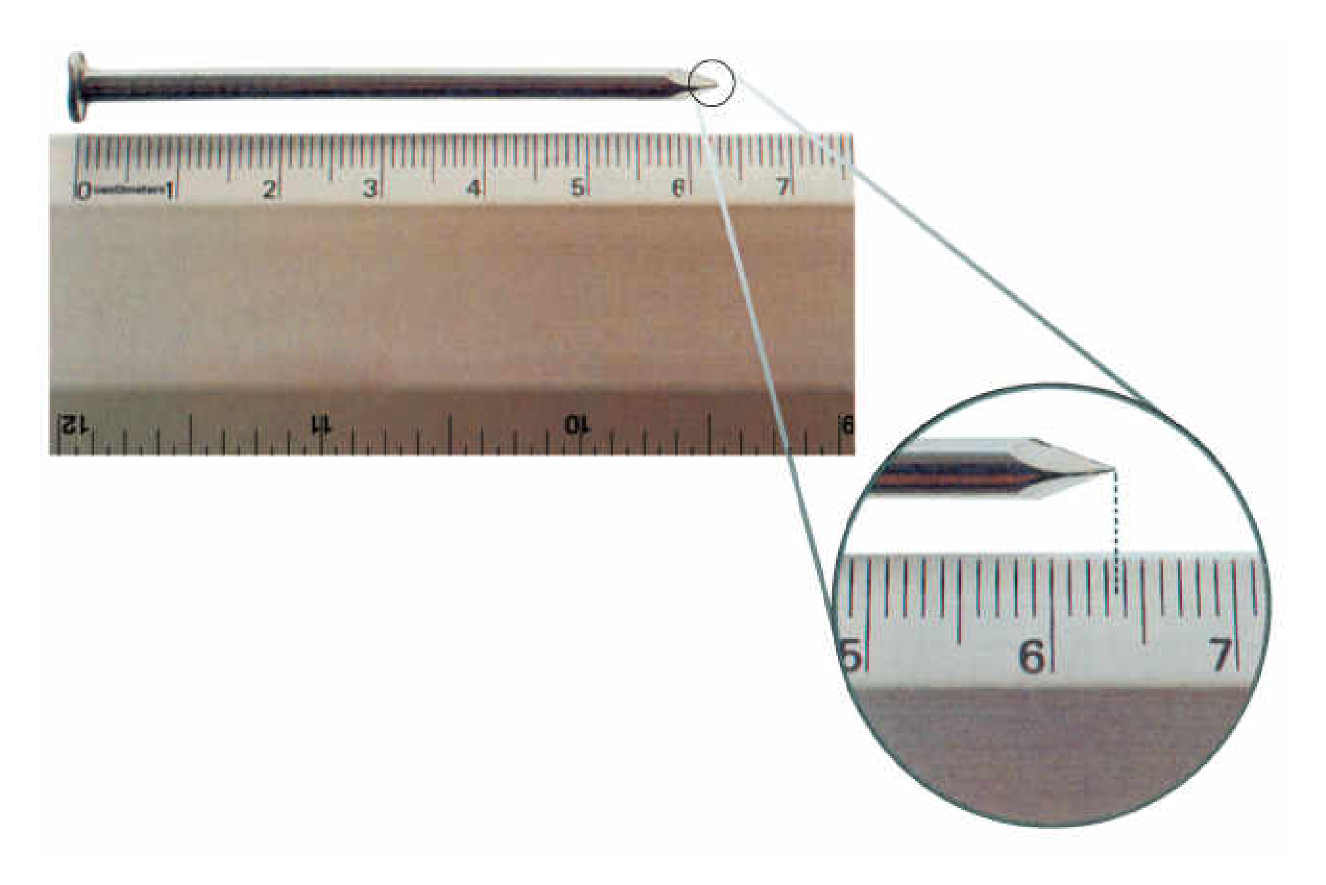
$$\text{Percent error} = \frac{\text{Value}_{accepted} - \text{Value}_{experimental}}{\text{Value}_{accepted}} \times 100$$

$$= \frac{1.36 \text{ g/mL} - 1.40 \text{ g/mL}}{1.36 \text{ g/mL}} \times 100 = -2.9\%$$

**تمارينُ تطبيقية**

**1.** ما النسبةُ المئويةُ للخطأِ في قياسِ كتلةٍ قدرُها 17.7 g علمًا بأنَّ القيمةَ الصحيحةَ تبلغُ 21.2 g؟ **الجواب:** 17%

**2.** بلغتِ القيمةُ المقيسةُ للحجمِ 4.26 mL. ما النسبةُ المئويةُ للخطأِ إذا كانتِ القيمةُ الصحيحةُ 4.15 mL؟ **الجواب:** -2.7%




**الشكل 9-2** سجِّلْ طولَ المسمارِ الذي يظهرُهُ هذا القياس.

## الخطأُ في القياسات

يحصلُ دائمًا بعضُ الأخطاءِ أو نتائجُ غيرُ مؤكّدةٍ في القياسات. لكنَّ صدقيةَ النتائجِ تتوقفُ على مهارةِ الشخصِ الذي يقومُ بالقياس، وثباتِ الظروفِ التي يتمُّ فيها القياس. يدخلُ في تحديدِ الدقةِ أيضًا نوعُ الأدواتِ المستعملةِ في القياس. فبعضُ الموازينِ الحساسةِ تعطي نتائجَ أفضلَ من غيرِها، ويصحُّ ذلك في المسطرةِ والمخبارِ المدرَّجِ وغيرِهما من وسائلِ القياس.

عند استعمالِكَ وسيلةَ قياس معيَّرةً بشكلٍ صحيح، تكونُ متأكدًا من صحةِ الرقمِ الناتجِ حتى عددٍ من المنازلِ العشرية. تستطيعُ القولَ مثلاً إنَّ طولَ المسمارِ في **الشكل 9-2** هو بالتأكيدِ بين 6.3 cm و 6.4 cm، أي في وسطِ المسافةِ بين هذينِ القياسين. وبالنظرِ عن كثبٍ تستطيعُ القولَ إنَّ معدلَ الطولِ يراوحُ بين 6.3 cm و 6.4 cm، لكن يبقى من الصعبِ القولُ إنَّ القراءةَ تعطي 6.35 cm أو 6.36 cm. إذنْ منزلةُ المئاتِ بعد الفارزة ليستْ مؤكدةً، وتجاهلُ هذه المنزلةِ غيرُ صحيحٍ لوجودِ دلالةٍ على المجالِ الذي تراوحُ ضمنَهُ القيمة. وقد تقررَ أنَّ طولَ المسمارِ هو 6.36 cm، لذا، عليك تقديرُ منزلةِ الرقمِ الأخيرِ المشكوكِ فيه. وهنا تستطيعُ إدخالَ الرمزِ + (زائد) أو − (ناقص) لإخراجِ هذا المجالِ من الشكِّ، على هذا الشكل: $6.36 \pm 0.01$ cm.

# الأرقامُ المعنوية

تُقَدَّمُ القيَمُ المقيسةَ في المجالِ العلميِّ بشكلِ **أرقام معنوية** significant figures. والأرقامُ المعنويةُ تتضمنُ جميعَ الأرقامِ المعلومةِ بالتأكيدِ، بالإضافةِ إلى الرقمِ الأخيرِ الذي هو تقريبيّ. فمثلاً، يُعدُّ الرقمُ الأخيرُ في قياس المسمارِ البالغِ 6.36 cm غيرَ مؤكد. وتُعدُّ جميعُ الأرقامِ (حتى غيرُ المؤكَّدِ منها) معنويةً، لأنها تتضمنُ معلوماتٍ تُدوَّن في القيمةِ المسجَّلة. لذا فإنَّ المصطلحَ «معنويّ» لا يعني «مؤكّد». وهذا يفيدُ أنَّ الرقمَ الأخيرَ في جميعِ القياساتِ المعطاةِ معنويٌّ لكنه غيرُ مؤكَّد. الأرقامُ غيرُ المعنويةِ لا يتمُّ تسجيلُها أبدًا. وبما أنك تدرسُ الكيمياءَ فأنتَ بحاجةٍ للتعرُّفِ إلى الأرقامِ المعنويةِ لاستخدامِها في تعاملِكَ اليوميِّ مع الكمِّياتِ المقيسةِ وللإبلاغِ عن النتائج، وكذلك لتقديرِ نتائجِ القياساتِ التي يقدِّمُها الآخرون.

## تحديدُ عددِ الأرقامِ المعنوية

عند الحصولِ على نتيجةِ قياسٍ، يجبُ تحديدُ الأرقامِ المعنويةِ في النتيجة. والعمليةُ سهلةٌ، ما دامَ العددُ لا يحتوي على أصفار فجميعُ الأرقامِ المبيَّنةِ معنوية. مثلاً، الأرقامُ الثلاثةُ في العددِ المسجَّلِ 3.95 معنوية. ويتمُّ اعتبارُ الصفرِ معنويًّا، في رقمٍ معيَّنٍ، تبعًا لموقعِه. لذلك يلزَمُكَ تعلُّمُ القواعدِ المبيّنةِ في **الجدول 2-5** واتِّباعُها.

**الجدول 2-5 قواعدُ تحديدِ الأصفارِ المعنوية**

| قاعدة | أمثلة |
|---|---|
| 1. الأصفارُ الظاهرةُ بين الأرقامِ جميعُها معنوية. | أ. 40.7 L فيه ثلاثةُ أرقامٍ معنوية.<br>ب. 87 009 km فيه خمسةُ أرقامٍ معنوية. |
| 2. الأصفارُ الظاهرةُ إلى يسارِ الأرقامِ غيرُ معنوية. | أ. 0.095 897 m فيه خمسةُ أرقامٍ معنوية.<br>ب. 0.0009 kg فيه رقمٌ واحدٌ معنويّ. |
| 3. الأصفارُ الواقعةُ في آخرِ العددِ وإلى يمينِ الكسرِ العشريِّ معنوية. | أ. 85.00 g فيه أربعةُ أرقامٍ معنوية.<br>ب. 9.000 000 000 mm فيه عشرةُ أرقامٍ معنوية. |
| 4. الأصفارُ التي تقعُ في آخرِ العددِ، ولكن إلى يسارِ الكسورِ العشريةِ معنويةٌ أو غيرُ معنوية. يكونُ الصفرُ معنويًّا إذا كانَ تقديريًّا أو حاصلَ قياسٍ في أوَّلِ منزلة. من ناحيةٍ أخرى، إذا لم يكن الصفرُ حاصلَ قياسٍ، بل كانَ بمثابةِ شاغلِ محلٍّ يكونُ غيرَ معنويّ، والأصفارُ التي تأتي قبلَ فارزةِ الكسرِ العشريِّ في القياساتِ المعطاةِ تعدُّ معنوية. | أ. العددُ 2000 m يمكنُ أن يكونَ فيه رقمٌ واحدٌ معنويّ، إلى أربعةِ أرقامٍ معنوية، تبعًا لعددِ الأصفارِ التي تشغلُ محالّ. في القياساتِ المعطاةِ هنا، اعتبرْ أنَّ في 2000 m رقمًا معنويًّا واحدًا.<br>ب. يحتوي العددُ 2000. m على أربعةِ أرقامٍ معنوية، وذلك لوجودِ الفاصلةِ العشريةِ عن يمينِ الأصفار. |

## مسألةٌ نموذجية 4-2

**ما عددُ الأرقامِ المعنويةِ في كلٍّ من القياساتِ التالية:**

أ. **28.6 g**

ب. **3440. cm**

ج. **910 m**

د. **0.046 04 L**

هـ. **0.006 700 0 kg**

### الحلّ

استعملِ القواعدَ المدرجةَ في **الجدولِ 5-2** كي تتمكَّنَ من تحديدِ الأرقامِ المعنوية.

أ. 28.6 g

لا يوجدُ هنا أصفارٌ، إذنْ الأرقامُ الثلاثةُ معنوية.

ب. 3440. cm

حسبِ القاعدةِ 4، الصفرُ معنويٌّ بسببِ إتباعهِ بالفاصلةِ العشرية (الفاصلةُ إلى يمينِ الصفر). إذن هناكَ أربعةُ أرقامٍ معنوية.

ج. 910 m

حسبَ القاعدةِ 4، الصفرُ غيرُ معنويّ، وهناك رقمانِ معنويانِ (لعدمِ وجودِ فاصلةٍ عشريةٍ على يمينِ الصفر)

د. 0.046 04 L

حسبَ القاعدةِ 2، الصفرانِ في أولِ العددِ غيرُ معنويين، وطبقًا للقاعدةِ 1 يُعدُّ الصفرُ الثالثُ معنويًّا. إذنْ يوجدُ أربعةُ أرقامٍ معنوية.

هـ. 0.006 700 0 kg

طبقًا للقاعدةِ 2، الأصفارُ الثلاثةُ في أولِ العددِ غيرُ معنوية، لكن حسبَ القاعدةِ 3 الأصفارُ الثلاثةُ الأخيرةُ معنوية. إذن يوجدُ خمسةُ أرقامٍ معنوية.

### تمارينُ تطبيقية

**1.** حدّدِ الأرقامَ المعنويةَ في الأعدادِ التالية:

أ. 804.05 g

ب. 0.014 403 0 km

ج. 1002 m

د. 400 mL

هـ. 30 000. cm

و. 0.000 625 000 kg

**الأجوبة:**

أ. 5

ب. 6

ج. 4

د. 1

هـ. 5

و. 6

**2.** كيف تكتبُ العددَ «سبعةُ آلافِ سنتيمتر» بحيثُ يكونُ فيه:

أ. رقمٌ معنويّ واحد — 7000 cm

ب. أربعةُ أرقامٍ معنوية — 7000. cm

ج. ستةُ أرقامٍ معنوية — 7000.00 cm

## تقريبُ الأرقام

عند قيامِكَ بعملياتٍ حسابيةٍ تتضمنُ قياساتٍ، تكونُ بحاجةٍ إلى أن تعرفَ كيف تتعاملُ مع الأرقامِ المعنويةِ، خصوصًا لدى استعمالِكَ الآلةَ الحاسبةَ. وذلك لأنَّ الأجوبةَ الصادرةَ عن تلك الآلةِ تحتوي على منازلَ رقميةٍ أكثرَ مما تحتملُهُ دقةُ القياس.

افترضْ أنك استعملتَ الآلةَ الحاسبةَ لتقسيمَ القيمةَ المقيسَةَ 154 g على قيمةِ 327 mL، كلٌّ من القيمتينِ يحتوي على ثلاثةِ أرقامٍ معنوية.

الآلةُ الحاسبةُ تعطي الجوابَ التالي: 0.470948012 الذي يحتوي على أرقامٍ ومنازلَ غيرِ ضروريةٍ للقياسات، لذا يجبُ تقريبُ الجوابِ حتى يتوافقَ مع صدقيةِ القياسات. فيصبحُ الجواب: 0.471 g/mL

تتوضّحُ قواعدُ التقريبِ في **الجدول 2-6**. ويَعتمدُ مدى التقريبِ في الحالةِ المطلوبةِ على كونِ العددِ ناتجًا من عمليةِ جمعٍ أو ضربٍ أو طرحٍ أو قسمة.

**الجدول 2-6 قواعدُ تقريبِ الأعداد**

| الرقمُ التالي للرقمِ المرادِ تقريبُه | حالةُ الرقمِ الأخير | مثال (قرّبِ العددَ إلى 3 أرقامٍ معنوية) |
|---|---|---|
| أكبرُ من 5 | يضافُ للرقمِ الأخيرِ واحد | 42.68 g ⟶ 42.7 g |
| أصغرُ من 5 | يبقى الرقمُ الأخيرُ كما هو | 17.32 m ⟶ 17.3 m |
| 5، يليهِ رقمٌ موجبٌ غيرُ الصفر | يضافُ إلى الرقمِ الذي يسبقُ 5 واحد | 2.7851 cm ⟶ 2.79 cm |
| 5، لا يليه رقمٌ موجبٌ غيرُ الصفر، بل يسبقُهُ رقمٌ فرديّ | يضافُ إلى الرقمِ الذي يسبقُ 5 واحد | 4.635 kg ⟶ 4.64 kg لأن الرقم 3 فردي |
| 5، لا يليه رقمٌ موجبٌ غيرُ الصفر، بل يسبقُهُ رقمٌ زوجيّ | يبقى الرقمُ الذي يسبقُ 5 على حاله | 78.65 mL ⟶ 78.6 mL لأن الرقم 6 زوجيّ |

## عمليتا الجمعِ والطرحِ بالأرقامِ المعنوية

لنأخذْ قياسَيِ الكتلتينِ 25.1 g و 2.03 g. يحتوي القياسُ الأولُ على رقمٍ واحدٍ إلى يمينِ الفاصلةِ العشريةِ في منزلةِ العشرات. بما أنَّ منزلةَ المئاتِ خاليةٌ من أيِّ رقمٍ، لا يمكنُ اعتبارُها صفرًا. أما القياسُ الثاني 2.03 g، فيحتوي على رقمينِ إلى يمينِ الفاصلةِ العشريةِ، ما يعطينا قيمةً لمنزلةِ المئات.

لنفترضْ أنك تريدُ القيامَ بجمعِ هذينِ القياسين، سوفَ يكونُ الجواب: 2.03 g + 25.1 g = 27.13 g. يشيرُ الجوابُ إلى حتميةِ اعتبارِ منزلةِ المئات. لكنَّ ذلك غيرُ مبرَّرٍ في العددِ 25.1 g لجهلنا منزلةَ المئات. لأجلِ ذلك يلزمُنا تعديلُ الجوابِ كي يعكسَ حالةَ الشكِّ في نتيجةِ تقريبِ العددينِ المجموعين. في عمليتَيْ جمعِ الكسورِ العشريةِ أو طرحِها يجبُ أن يحتويَ الجوابُ على عددِ الأرقامِ الموجودةِ إلى يمينِ الفاصلةِ العشريةِ نفسِه، كما في القياسِ الذي أرقامُهُ أقلُّ عددًا من هذه الأرقامِ، وتوحيدُ هذا العددِ يكونُ بأخذِ الأقلِّ أرقامًا. أما في حساباتِ الأعدادِ الكاملةِ فيجبُ التقريبُ بشكلٍ يكونُ فيه الرقمُ الأخيرُ محلَّ الرقمِ غيرِ المؤكَّد. فإذا قارنتَ القيمتينِ 25.1 g و 2.03 g فإنَّ القياسَ الذي يتضمنُ الرقمَ الأقلَّ عن يمينِ الفاصلةِ العشريةِ هو

25.1 g، وهو يحتوي على رقمٍ واحد. لذا، ولتطبيقِ القاعدةِ في تقريبِ الجوابِ، يجبُ ألّا يحتويَ الحاصلُ على أكثرَ من رقمٍ واحدٍ عن يمينِ الفاصلةِ العشريةِ، فهو إذنْ 27.1 g.

## عمليتا الضربِ والقسمةِ بالأرقامِ المعنوية

لنفترضْ أنك قمتَ بقياسِ كثافةِ جسمٍ كتلتُهُ 3.05 g وحجمُهُ 8.47 mL، وكانَ حاصلُ القسمةِ على الآلةِ الحاسبةِ ما يلي:

$$\text{density} = \frac{mass}{volume} = \frac{3.05\ \text{g}}{8.47\ \text{mL}} = 0.360\ 094\ 451\ \text{g/mL}$$

يجبُ تقريبُ الجوابِ بالأرقامِ المعنويةِ الصحيحة. بما أنَّ قيمتَي الكتلةِ والحجمِ تحتويانِ على ثلاثةِ أرقامٍ معنويةٍ، لم يعدْ ممكنًا تبريرُ درجةِ التأكّدِ في هذا الحاصل. في عمليتَي الضربِ والقسمةِ يجبُ أن يحتويَ الجوابُ على أرقامٍ معنويةٍ لا تزيدُ عن التي يتضمنُها القياس. إذن، لحسابِ الجوابِ، يجبُ تقريبُ الجوابِ إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنويةٍ، بحيثُ تكونُ بعددِ الأرقامِ المعنويةِ في 3.05 g و 8.47 mL، فالجوابُ إذنْ هو: 0.360 g/mL.

### مسألةٌ نموذجية 2-5

**احسُبْ ما يلي معبِّرًا عن كل جوابٍ بالعددِ الصحيحِ من الأرقامِ المعنوية:**

أ. **5.44 m – 2.6103 m**

ب. **2.4 g/mL x 15.82 mL**

**الحلّ**

طبِّقِ القواعدَ المدرجةَ في **الجدولين 2-5** و **2-6** بحيثُ يكونُ الجوابُ مقرَّبًا بالأرقامِ المعنويةِ الصحيحة.

أ. يقرَّبُ الجوابُ إلى 2.83 m (في عمليةِ الطرحِ يُقرَّبُ المطروحُ 2.6103 m إلى رقمينِ عشريينِ عن يمينِ الفاصلةِ العشريةِ، لينسجمَ مع المطروحِ منه 5.44 m).

ب. يقرَّبُ الجوابُ إلى 38 g، وفي عمليةِ الضربِ نُبقي على رقمينِ معنويينِ في الجوابِ لينسجمَ مع (2.4 g/mL).

### تمارينُ تطبيقية

1. ما هو مجموعُ 2.099 g و 0.05681 g؟ **الجواب:** 2.156 g
2. احسبِ الكميةَ 87.3 cm – 1.655 cm **الجواب:** 85.6 cm
3. احسبْ مساحةَ سطحِ بلّورةٍ طولُهُ 1.34 $\mu$m وعرضُهُ 0.7488 $\mu$m (ملاحظة: المساحة = الطول x العرض. وهي تقاسُ بوحداتٍ مربَّعة). **الجواب:** 1.00 $\mu m^2$
4. كثافةُ مادّةِ البلاستيك polycarbonate 1.2 g/cm$^3$ يلزمُنا صفيحتانِ سماكةُ كلٍّ منهما 3.0 mm لصناعةِ إطارٍ لصورة. إذا علمتَ أنَّ قياسَ كلِّ صفيحةٍ = 28 cm x 22 cm فكم تكونُ كتلةُ إطارِ الصورة؟ **الجواب:** 440 g

## مُعامِلاتُ التحويلِ والأرقامُ المعنوية

تعلّمتَ في بدايةِ هذا الفصلِ كيفَ تستعملُ مُعامِلاتِ تحويلِ الوحداتِ التي تمثلُ أرقامًا دقيقةً وتامةً، أي مؤكَّدة تمامًا. في المترِ مثلاً مئةُ سنتيمترٍ تمامًا بلا زيادةٍ ولا نقصانٍ، وإذا أردتَ استعمالَ مُعامِلِ التحويلِ 100 cm/m لتحوّلَ المترَ إلى سنتيمتر، فهذا لا يغيرُ قطعًا من صدقيةِ الجواب. لذا يتمُّ تحويلُ 4.608 m إلى سنتيمتراتٍ على الشكلِ التالي:

$$4.608 \text{ m x } \frac{100 \text{ cm}}{\text{m}} = 460.8 \text{ cm}$$

يحتوي الجوابُ على أربعةِ أرقامٍ معنوية. وبما أنَّ مُعامِلَ التحويلِ عددٌ صحيحٌ، انتفتِ الحاجةُ إلى التقريب.

إنَّ معظمَ مُعامِلاتِ التحويلِ هي كمّياتٌ معرَّفةٌ وليستْ كمياتٍ مقيسة. ينتجُ من الأعدادِ المحسوبةِ مُعامِلاتُ تحويلٍ لا حصرَ لدقتها. على سبيلِ المثالِ، إذا أعطيتَ عشرةَ أنابيبَ مخبريةٍ لكلِّ متعلِّمٍ من متعلِّمي الصفِ، ينتجُ من ذلك معاملُ تحويلٍ دقيقٍ، هو عشرةُ أنابيبَ لكلِّ متعلِّم، حتمًا وبلا شك.

# الترميزُ العلميّ

تُكتبُ الأعدادُ بطريقةِ **الترميزِ العلميّ** scientific notation على الشكلِ التالي: $M \text{ x } 10^n$، حيثُ M عددٌ أكبرُ أو مساوٍ لواحدٍ لكن أقلُّ من 10، و n عددٌ صحيح. لذلك تُكتبُ القيمةُ 65000 km مثلاً، باستخدامِ الترميزِ العلميِّ مع إظهارِ أولِ رقمينِ معنويينِ بهذه الصورة: $6.5 \text{ x } 10^4$ km.

وبكتابةِ العاملِ M بصيغةِ 6.5 يظهرُ مكوَّنًا من رقمينِ معنويين. لكن إذا أردتَ التعبيرَ عن العددِ 65000 بثلاثةِ أرقامٍ معنويةٍ، بدلاً من اثنين، تكونُ الصيغة:

$$6.50 \text{ x } 10^4 \text{ km}$$

تذكَّرْ أنه عندَ كتابةِ الأرقامِ بطريقةِ الترميزِ العلميِّ لا يَظهرُ إلاّ الأرقامُ المعنويةُ فقط. وللدلالةِ على كمياتٍ أو أحجامٍ صغيرةٍ جدًّا كطولِ فيروسِ الرشحِ مثلاً، يحوَّلُ العددُ 0.00012 mm من الصيغةِ العاديةِ إلى صيغةِ الترميزِ العلميِّ، كما يلي:

$$0.000\ 12 \text{ mm} = 1.2 \text{ x } 10^{-4} \text{ mm}$$

حرِّكِ الفاصلةَ أربعةَ مواقعَ إلى اليمينِ واضرِبِ الرقمَ الحاصلَ بـ $10^{-4}$

**1.** حدِّدْ M بتحريكِ الفاصلةِ العشريةِ في العددِ الأساسيِّ إلى اليمينِ أو إلى اليسارِ، بحيثُ يبقى رقمٌ واحدٌ عدا الصفرَ إلى يسارِ الفاصلةِ العشرية.

**2.** حدِّدْ n بحسابِ عددِ نقلاتِ الفاصلةِ العشرية. تكونُ n موجبةً إذا جرتِ الحركةُ إلى اليسارِ، وسالبةً عندَ الحركةِ إلى اليمين.

## العملياتُ الرياضيةُ باستخدامِ الترميزِ العلميّ

1. الجمعُ والطرح: لا تُنجزُ هذه العملياتُ ما لم تتضمنِ القيَمُ أعدادًا لها الأسُّ نفسُهُ أي القوةُ الجبريةُ نفسُها (exponent)، وإلاّ وجبَ تعديلُها بحيثُ تتعادلُ القوى الجبرية. عندها نتمكنُ من جمعِ أو طرحِ مُعاملِ M. ويمكنُ الإبقاءُ على القوةِ الجبريةِ نفسِها في الجوابِ، أو تعديلُ العاملِ M إذا تضمنَ الجوابُ أكثرَ من رقمٍ إلى يسارِ الفاصلةِ العشرية. لاحظْ طريقةَ جمعِ العددين: $4.2 \times 10^4$ kg و $7.9 \times 10^3$ kg.

بدايةً نوحدُ القوتينِ الجبريتينِ، بحيثُ نحوِّلُهما إلى 3 أو إلى 4، وهناك احتمالانِ للحلّ:

$$\begin{array}{r} 4.2 \times 10^4 \text{ kg} \\ +0.79 \times 10^4 \text{ kg} \\ \hline 4.99 \times 10^4 \text{ kg} \end{array}$$

ويُقَرَّبُ إلى $5.0 \times 10^4$ kg

أو

$$\begin{array}{r} 7.9 \times 10^3 \text{ kg} \\ +42 \times 10^3 \text{ kg} \\ \hline 49.9 \times 10^3 \text{ kg} \end{array}$$

ويُقَرَّبُ إلى $5.0 \times 10^4$ kg

لاحظْ أنَّ الوحدةَ تبقى بالكيلوجرام (kg)

2. الضرب: يتمُّ ضربُ مُعامِلاتِ M بجمعِ القوى الجبرية.

انظرْ إلى العمليةِ التاليةِ للضرب: $5.23 \times 10^6 \mu m \times 7.1 \times 10^{-2} \mu m$

$$(5.23 \times 10^6\ \mu m) \times (7.1 \times 10^{-2}\ \mu m) = (5.23 \times 7.1)(10^6 \times 10^{-2})\ \mu m^2$$
$$= 37.133 \times 10^4\ \mu m^2$$

وبتقريبِ النتيجةِ إلى منزلتينِ عشريتينِ تصبح

$$= 3.7 \times 10^5\ \mu m^2$$

انتبهْ إلى أنه عندَ ضربِ وحداتِ الطولِ في بعضِها تكونُ النتيجةُ مساحةً، وتكونُ الوحدةُ مربَّعةً، أي $\mu m^2$

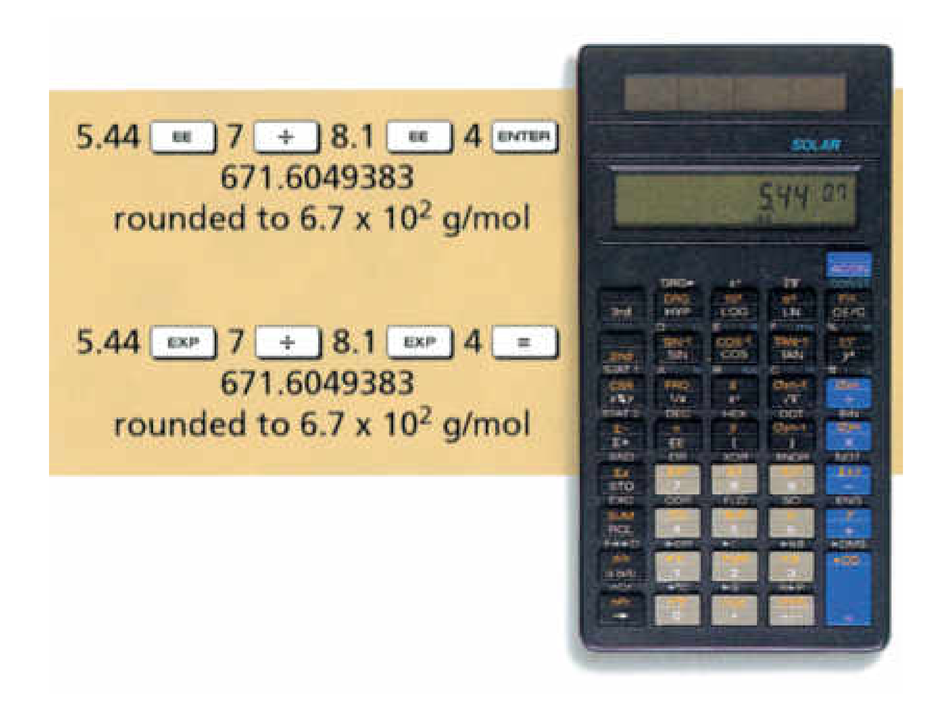
3. القسمة: عندَ قسمةِ مُعامِلاتِ M تُطرحُ قيمةُ القوةِ الجبريةِ للمقامِ من القوةِ الجبريةِ للبسط، انظرِ **الشكلَ 2-10** كي تتعلَّمَ كيفيَّةَ إنجازِ العمليةِ على الآلةِ الحاسبة.

$$\frac{5.44 \times 10^7 \text{ g}}{8.1 \times 10^4 \text{ mol}} = \frac{5.44}{8.1} \times 10^{7-4} \text{ g/mol}$$

وعندَ تعديلِ النتيجةِ لمنزلتينِ عشريتينِ (رقمين معنويين)

$$= 0.6716049388 \times 10^3 \text{ g/mol}$$
$$= 6.7 \times 10^2 \text{ g/mol}$$

لاحظْ أن الوحدةَ في الجوابِ هي g/mol




**الشكل 2-10** عند استعمالكَ الآلةَ الحاسبةَ لحلِّ المسائل بصيغةِ الترمين، عليك إظهارُ القيمةِ بعددِ الأرقامِ المعنويةِ الصحيح، مع تسميةِ الوحدةِ في الجوابِ النهائيّ.

## استعمالُ المسائلِ النموذجية

لتتعلَّمَ كيفَ تحلِّلُ هذه المسائلَ وتحلُّها، يجبُ أن تتمرنَ وتتبعَ التفكيرَ المنطقيَّ في التطبيق. وفي هذا الفصل سنعرضُ لطريقةٍ تساعدُك في تحليل المسائل بنجاح. لقد نُظِّمت معظمُ المسائلِ النموذجيةِ الواردةِ في هذا الكتابِ في أربعِ خطواتٍ أساسيةٍ لتوجيهِ تفكيرِك إلى كيفيةِ الوصولِ إلى حلِّها.

### أحلِّل

من أولى الخطواتِ لحلِّ مسألةٍ كميةٍ قراءةُ المسألةِ بتأنٍّ مرَّتينِ على الأقلّ، وتحليلُ البياناتِ الواردةِ فيها. لاحظْ أيَّ عبارةٍ مهمةٍ قد توضحُ المسألةَ أو تعطيها معنًى إضافيًّا. دوِّنِ البياناتِ المعطاةَ في المسألة، وحدِّدِ المجهولَ، أي الكميةَ المُرادَ البحثُ عنها.

### أخطِّط

الخطوةُ الثانيةُ أن تضعَ خطّةً للحلِّ تُبيِّنُ فيها كيفيةَ استخدامِ البياناتِ المعطاةِ لمعرفةِ المجهول. خلالَ هذه العملية، أعدْ قراءةَ المسألةِ للتأكدِ من استيعابِكَ لجميعِ البياناتِ الضرورية. من المفيدِ أيضًا الاستعانةُ بمخطَّطٍ يمثلُ المسألة. فإذا كانَ عليكَ إيجادُ حجمِ بلَّورةٍ معلومةِ الأبعاد، يمكنُك أن تمثلَ البلورةَ برسمِها وتدوينِ الأبعادِ على الرسمِ، هذا يساعدُك على تصوُّرِ المسألة.

بعدها عليكَ أن تقررَ إلى أيِّ تحويلٍ وأيِّ معادلةٍ رياضيةٍ أو أيِّ قانونٍ كيميائيٍّ ستلجأُ كي تحلَّ المسألة. وقد تتطلبُ الخطّةُ التي وضعتَها عمليةً حسابيةً مفردة، أو سلسلةً من العملياتِ تتضمنُ عدَّةَ معاملاتِ تحويل. لمجردِ تصورك للحلِّ يمكنُك أن تخطِّطَ لطريقةِ الحلّ. يمكنُكَ استخدامُ أسهمٍ لتحديدِ طريقةِ الحلِّ والانتقالُ من خطوةٍ إلى أخرى. قد

تحتاجُ أحيانًا إلى بياناتٍ ومعطياتٍ لا تتوفرُ في المسألةِ، كبعضِ معطياتِ الجدولِ الدوريِّ، مثلاً.

## أحسب

في الخطوةِ الثالثةِ عليك أن تستبدلَ المعطياتِ ومعاملاتِ التحويلِ الضروريةِ في الخطةِ التي وضعتَها. في هذه المرحلةِ تحسبُ الجوابَ، وتلغي الوحداتِ، وتقرِّبُ النتيجةَ إلى العددِ الصحيحِ للأرقامِ المعنوية. وقبلَ البَدءِ باستخدامِ الحاسبةِ، يفضَّلُ أن تكونَ الخطّةُ الموضوعةُ في الخطوةِ 2 جاهزة. كي تتجنبَ ما يقعُ فيه أكثرُ المتعلِّمين، فقد باتَ شائعًا أنهم يبدأونَ بإجراءِ عملياتِ ضربِ القيمِ المعطاةِ أو قسمتِها قبل أن يفهموا حقيقةَ المطلوبِ للوصولِ إلى النتيجة.

## أقيِّم

اختبرْ إجابتَكَ لتقرِّرَ إن كانت منطقيةً أم لا. واستعملِ الطرقَ التاليةَ، إن أمكنَ، لإجراءِ عمليةِ التقييم:

1. تحقق من صحّةِ الوحداتِ. إن لم تكنْ صحيحةً عليك مراجعةُ التصميمِ، هل كانت مُعاملاتُ التحويلِ صحيحة؟
2. ضعْ قيمةً تقريبيةً للجوابِ المتوقع. واستخدمْ في ذلك أرقامًا بسيطةً وكاملة. قارن بين هذه النتيجةِ التقريبيةِ والنتيجةِ الفعلية. يجبُ أن تتطابقَ النتيجتان.
3. تحققْ من حجمِ قيمةِ الجوابِ، وقارِنْهُ ببقيةِ الأرقامِ الواردةِ في المسألة. هل يبدو معقولاً؟ إذا أردتَ، مثلاً، حسابَ كثافةِ الزيتِ فوجدتَها 54.9 g/mL، ستدركُ أنَّ ذلك غيرُ منطقيّ، هو إذن يدلُّ على وجودِ خطأ ما. فالزيتُ يطفو على سطحِ الماءِ، كثافتُهُ إذن أقلُّ من كثافةِ الماءِ، وهذا يعني أنَّ الجوابَ يجبُ أن يكونَ أقلَّ من 1 g/mL.
4. تأكدْ دائمًا من أنَّ جوابَك يتضمنُ الأرقامَ المعنويةَ الصحيحة. انظرْ إلى المسألةِ النموذجيةِ الكميةِ، ولاحظْ تطبيقَ الخطواتِ الأربعِ، وحاول تطبيقَها في حلِّكَ للتمارينِ التطبيقيةِ التالية.

## مسألةٌ نموذجية 2-6

**احسبْ حجمَ عيِّنةٍ من الألمينيوم كتلتُها 3.057 kg، علمًا بأنَّ كثافةَ الألمينيوم $2.70\ g/cm^3$.**

### الحلّ

**1 أحلِّل**

**المعطى:** الكتلة = 3.057 kg، والكثافة = $2.70\ g/cm^3$

**المجهول:** حجمُ الألمينيوم.

**2 أخطِّط**

بما أنَّ وحدةَ الكثافةِ هي $g/cm^3$، ووحدةَ الكتلةِ هي kg، فأنت تحتاج، بالإضافةِ إلى استخدامِ العلاقةِ الرياضيةِ للكثافة، معاملَ تحويلٍ يمثِّلُ العلاقةَ بين الجرامِ والكيلوجرامِ هو :

$$1000\ g = 1\ kg$$

رتِّبْ معادلةَ الكثافةِ بشكلٍ تستطيعُ معه أن تجدَ الحجم:

$$D = \frac{m}{V}$$

$$V = \frac{m}{D}$$

**3 أحسب**

$$V = \frac{3.057\ \cancel{kg}}{2.70\ \cancel{g}/cm^3} \times \frac{1000\ \cancel{g}}{\cancel{kg}} = 1132.222\ldots cm^3$$ (هذا جوابُ الآلةِ الحاسبة)

عليك تقريبُ جوابِ الآلةِ الحاسبةِ إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنوية

$$V = 1.13 \times 10^3\ cm^3$$

**4 أقيِّم**

وحدةُ الحجمِ هي $cm^3$، هي إذنْ صحيحة . والحجمُ في مقاربةِ الجوابِ يقدَّرُ بأكثرَ من $1000\ cm^3$.

$$\frac{3}{2} \times 1000$$

ويكونُ العددُ الصحيحُ للأرقامِ المعنويةِ ثلاثة، لكي ينسجمَ مع العددِ $2.70\ g/cm^3$.

### تمارينُ تطبيقية

**1.** ما حجمُ عيِّنةٍ من غازِ الهيليوم كتلتُها $1.73 \times 10^{-3} g$ وكثافتُها 0.178 47 g/L ؟ **الجواب:** 9.69 mL

**2.** ما كثافةُ قطعةٍ معدنيةٍ كتلتُها $6.25 \times 10^5\ g$ وأبعادُها 92.5 cm x 47.3 cm x 85.4 cm ؟ **الجواب:** $1.67\ g/cm^3$

**3.** كم مليمترًا في $5.12 \times 10^5\ km$ ؟ **الجواب:** $5.12 \times 10^{11}\ mm$

**4.** في ساعةِ حائطٍ يزدادُ الوقتُ 0.020 ثانيةً في الدقيقة. ما عددُ الثواني التي ستزدادُ خلالَ ستةِ أشهرٍ على افتراضِ أنَّ الشهرَ 30 يومًا؟ **الجواب:** $5.12 \times 10^3\ s$

## التناسبُ الطرديّ

تتناسبُ كميتانِ **تناسبًا طرديًّا** directly proportional إذا كانَ حاصلُ قسمةِ الواحدةِ على الأخرى قيمةً ثابتة. فمثلاً، إذا قيستْ كتلُ عيّناتٍ مختلفةٍ من الألمنيوم وأحجامُها، تكونُ الكتلُ متناسبةً طردًا مع الأحجام، فكلّما زادتْ كتلةُ العيّنةِ زادَ حجمُها بالنسبةِ نفسِها، كما يظهرُ في **الجدول 2-7**. فإذا تضاعفتِ الكتلةُ تضاعفَ الحجمُ، وإذا نُصِّفتِ الكتلةُ نُصِّفَ الحجمُ، وهكذا.

تُكتبُ العلاقةُ بين متغيرين $x$ و $y$، إذا تناسبا طردًا، بصورة $y \propto x$، وتُقرأُ: $y$ متناسب طردًا مع $x$. وتُكتبُ المعادلةُ العامةُ للتناسبِ الطرديِّ بين المتغيّرينِ بالشكلِ التالي:

$$\frac{y}{x} = k$$

قيمةُ $k$ في هذه المعادلةِ ثابتة. وتُسمّى **ثابتَ التناسبية**.

تدلُّ المعادلةُ، عند كتابتِها بهذا الشكل، على حقيقةٍ مهمة : «إن النسبةَ بين المتغيرين تبقى هي نفسَها (ثابتة). وعند استخدامِ قيمِ الكتلِ والأحجامِ المبيّنةِ في **الجدول 2-7** يلاحظُ أنَّ نسبةَ الكتلةِ إلى الحجمِ هي دائمًا ثابتة (إذا تمَّ تجاهلُ الأخطاءِ في القياسات). وعليه، يمكنُ إعادةُ ترتيبِ المعادلةِ على الشكلِ التالي:

$$y = k\,x$$

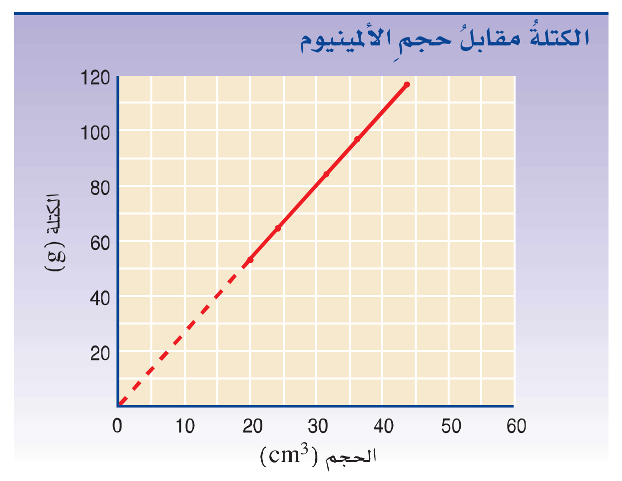
قد تبدو هذه المعادلةُ مألوفةً لديك. فهي معادلةُ الخطِّ المستقيم، أي عند رسمِ خطٍّ بيانيٍّ بين قيمِ المتغيّرينِ نحصُلُ على خطٍّ مستقيمٍ يمرُّ بنقطةِ الأصل (0,0). في **الجدول 2-7** رُسمتْ بياناتُ الألمنيوم هذه لتعطيَ النموذجَ البيانيَّ الظاهرَ في **الشكل 2-11**. إنَّ الكتلةَ والحجمَ لمادّةٍ نقيةٍ متناسبانِ طردًا. إذا اعتبرنا الكتلةَ $y$ والحجمَ $x$، تكونُ النسبةُ الثابتةُ بينهما متمثِّلةً في الكثافة، وتكونُ العلاقةُ بشكلِ خطٍّ مستقيمٍ وبقيمةِ انحدارٍ ثابتة، ما يعكسُ ثباتَ قيمةِ الكثافةِ أو العلاقةَ الطرديةَ بين الكتلةِ والحجم، وهي 2.7 g/cm عند الحرارة 20°C.

لاحظْ في **الشكل 2-11** مرورَ الخطِّ المستقيمِ في نقطةِ الأصل (0,0). تذكَّرْ أنَّ الرسمَ البيانيَّ لجميعِ العلاقاتِ المتناسبةِ طردًا يكونُ على شكلِ خطٍّ مستقيم.

**الجدول 2-7 بياناتُ الكتلة - الحجم للألمنيوم عند درجة الحرارة 20°C**

| كتلة (g) | حجم (cm³) | $\frac{m}{V}$ (g/cm³) |
|---|---|---|
| 54.4 | 20.1 | 2.70 |
| 65.7 | 24.15 | 2.72 |
| 83.5 | 30.9 | 2.70 |
| 97.2 | 35.8 | 2.71 |
| 105.7 | 39.1 | 2.70 |

**الشكل 2-11** يبيِّنُ الرسمُ البيانيُّ العلاقةَ الطرديةَ بين الكتلةِ والحجم. لاحظْ مرورَ الخطِّ المستقيم في نقطةِ الأصلِ (0,0) عند مدِّه.



## التناسبُ العكسيّ

تتناسبُ كميتانِ **تناسبًا عكسيًّا** inversely proportional إذا كانَ لحاصلِ ضربِهما قيمةٌ «ثابتة». إنَّ العلاقةَ بين السرعةِ والوقتِ اللازمِ لاجتيازِ مسافةٍ معينةٍ، هي مثالٌ على علاقةٍ متناسبةٍ عكسًا. فكلما زادتِ السرعةُ نقصَ الوقتُ اللازمُ لقطعِ المسافة. وإذا ضُوعِفتِ السرعةُ اختُزِلَ الوقتُ إلى النصفِ، وإذا خُفِّضتِ السرعةُ إلى النصفِ يلزمُنا وقتٌ مضاعفٌ لقطعِ المسافةِ نفسِها.

تُكتب العلاقةُ بين متغيرينِ $x$ و $y$، إذا كانا متناسبينِ تناسبًا عكسيًّا،

$$y \propto \frac{1}{x}$$

وتقرأُ على الشكلِ التالي: $y$ متناسب عكسيًّا مع $x$ وطردًا مع $\frac{1}{x}$. وبشكلٍ عامٍّ تكونُ العلاقةُ الرياضيةُ العامةُ بين المتغيرين:

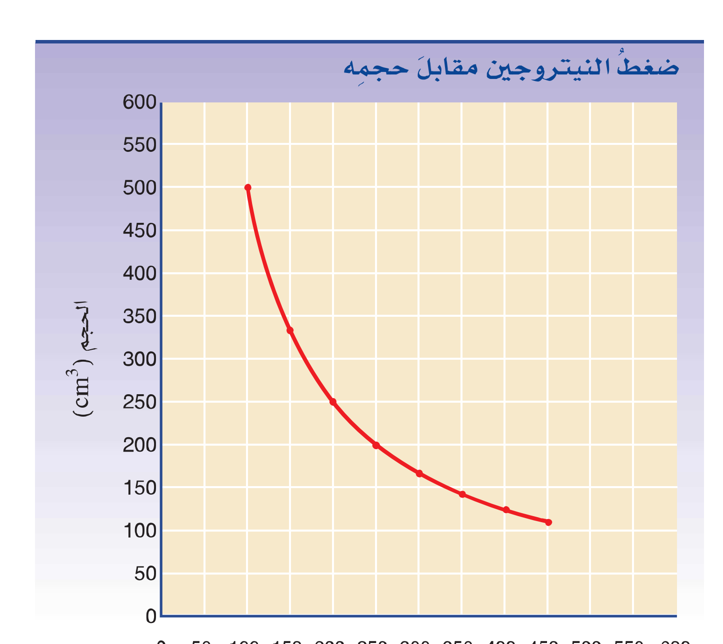
$$xy = k$$

$k$ في هذه المعادلةِ تُسمّى ثابتَ التناسبية. فإذا زادتْ قيمةُ $x$ يجبُ أن تنقصَ قيمةُ $y$ كي يبقى حاصلُ ضربِ المتغيرينِ ثابتًا.

الرسمُ البيانيُّ لمتغيرينِ متناسبينِ عكسيًّا يكونُ على شكلِ منحنى قطعٍ زائدٍ، كما هو موضَّحٌ في **الشكل 12-2**. كلّما نقصَ الحجمُ ($V$) للغازاتِ كلما ازدادَ الضغطُ ($P$) المسلَّطُ عليها عند درجةِ حرارةٍ ثابتة. انظرْ إلى البياناتِ في **الجدولِ 8-2**، ولاحظْ أنَّ حاصلَ الضربِ: $P \times V$ يعطي قيمةً منطقيةً ثابتة. يُظهرُ **الشكلُ 12-2** الرسمَ البيانيَّ لتلك البيانات.

**الجدول 8-2** بياناتُ الضغطِ - الحجم لغازِ النيتروجين عند حرارةٍ ثابتة

| الضغط P (kPa) | الحجم V (cm$^3$) | $P$ x $V$ |
|---|---|---|
| 100 | 500 | 50 000 |
| 150 | 333 | 49 500 |
| 200 | 250 | 50 000 |
| 250 | 200 | 50 000 |
| 300 | 166 | 49 800 |
| 350 | 143 | 50 500 |
| 400 | 125 | 50 000 |
| 450 | 110 | 49 500 |




**الشكل 2-12** يُظهرُ الرسمُ البيانيُّ العلاقةَ العكسيةَ بينَ الضغطِ والحجمِ. لاحظِ الخطَّ المنحنيَ للرسمِ وقارِنْهُ بالخطِّ المستقيمِ للعلاقةِ الطرديةِ في الشكل 2-11.

## مراجعةُ القسم 2-3

**1.** أنتَ تعلمُ أنَّ كثافةَ النحاسِ $8.94\ g/cm^3$. قامَ متعلِّمانِ بقياسِ كثافةِ عيِّناتٍ من تلك المادّةِ ، كلٌّ منهما قامَ بثلاثِ محاولاتٍ، فجاءتْ نتائجُ المتعلِّمِ (أ) كالآتي: $8.3\ g/mL$، $7.3\ g/mL$، $9.4\ g/mL$، ونتائجُ المتعلِّمِ (ب): $8.0\ g/cm^3$، $8.8\ g/cm^3$، $8.4\ g/cm^3$. قارن بين مجموعتَي النتائجِ من حيثُ الدقةُ والضبط.

**2.** ما عددُ الأرقامِ المعنويةِ التي يحتوي عليها كلٌّ من القياساتِ التالية:

أ. $6.002\ cm$

ب. $0.0020\ m$

ج. $10.0500\ g$

د. $7000\ kg$

هـ. $7000.\ kg$

**3.** قرِّبِ العددَ 2.6765 إلى رقمينِ معنويين.

**4.** أنجزِ العملياتِ الحسابيةَ التالية:

أ. $52.13\ g + 1.7502\ g$

ب. $12\ m \times 6.41\ m$

ج. $\dfrac{16.25\ g}{5.1442\ mL}$

**5.** أجرِ العملياتِ الحسابيةَ التاليةَ واكتبِ الجوابَ بالترميزِ العلميّ:

أ. $(1.54 \times 10^{-2}\ g) + (2.86 \times 10^{-1}\ g)$

ب. $(7.023 \times 10^{9}\ g) - (6.62 \times 10^{7}\ g)$

ج. $(8.99 \times 10^{-4}\ m) \times (3.57 \times 10^{4}\ m)$

د. $\dfrac{2.17 \times 10^{-3}\ g}{5.022 \times 10^{4}\ mL}$

**6.** اكتبِ القياساتِ التاليةَ بالترميزِ العلميّ:

أ. 560 000

ب. 33 400

ج. 0.000 4120

**7.** وزنَ متعلِّمٌ كأسًا مليئًا بزيتِ الذرة. كانَ متوسِّطُ القيمة $215.6\ g$، فإذا كانت كتلةُ الكأسِ $110.4\ g$،

أ. كم تكونُ كتلةُ زيتِ الذرة؟

ب. كم تكونُ كثافةُ زيتِ الذرةِ، إذا كانَ حجمُه $114\ cm^3$؟

**8.** احسبْ كتلةَ عيِّنةٍ من الذهبِ تشغلُ حجمًا مقدارُه $5.0 \times 10^{-3}\ cm^3$، علمًا بأنَّ كثافةَ الذهبِ هي $19.3\ g/cm^3$.

**9.** ما الفرقُ بين رسمٍ بيانيٍّ لمعطياتٍ متناسبةٍ طردًا ورسمٍ بيانيٍّ لمعطياتٍ متناسبةٍ عكسيًّا؟

# مراجعةُ الفصل 2

## ملخّصُ الفصل

### 1-2

- المنهجُ العلميُّ هو الأسلوبُ المنطقيُّ لحلِّ المشكلاتِ المطروحةِ على بساطِ البحث.
- يتضمنُ المنهجُ العلميُّ عملياتِ الملاحظةِ والتعميمِ وتشكيلِ النظريةِ والاختبار .
- الفرضيةُ نصٌّ خاضعٌ للاختبارِ، ويُستعملُ أساسًا للتوقّعاتِ والاختباراتِ اللاحقة.
- النظريةُ تعميمٌ واسعٌ لتفسيرِ مجموعةٍ من الحقائقِ أو الظواهرِ المعروفة.

**المفردات**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| فرضية | (30) hypothesis | نظام | (29) system | نموذج | (31) model |
| المنهجُ العلميّ | (29) scientific method | نظرية | (31) theory | | |

### 2-2

- يتألفُ ناتجُ كلِّ قياسٍ من عددٍ رقميٍّ ووحدةٍ مناسبة.
- يُستخدمُ في العلومِ نظامُ SI للقياساتِ، وهو مؤلفٌ من سبعِ وحداتٍ أساسية: المتر (للطول)، الكيلوجرام (للكتلة)، الثانية (للزمن)، الكلفن (لدرجة الحرارة)، المول (لكمية المادة)، الأمبير (للتيار الكهربائي)، والكاندلا (للشّدةِ الضوئية).
- الوزنُ قياسٌ لتأثيرِ قوةِ الجاذبيةِ الأرضيةِ على المادّة.
- تتضمنُ وحداتُ SI المشتقةُ المترَ المربَّعَ (للمساحة) والمترَ المكعَّبَ (للحجم).
- الكثافةُ هي النسبةُ بين الكتلةِ والحجم.
- تُستعملُ معامِلاتُ التحويلِ للانتقالِ من وحدةٍ إلى أخرى.

**المفردات**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| حجم | (36) volume | مُعاملُ التحويل | (39) conversion factor | وزن | (33) weight |
| كثافة | (37) density | النظامُ الدولي للوحدات | (32) SI | | |
| كمية | (32) quantity | وحدةٌ مشتقة | (34) derived unit | | |

### 3-2

- تدلُّ الدقةُ على مدى قربِ القياسِ من القيمةِ الصحيحةِ أو المقبولة، بينما يدلُّ ضبطُ القياسِ على مدى التقاربِ بين نتائجِ مجموعةِ قياسات.
- يُعيَّن معدّلُ القياسِ بجمعِ قيمِ مجموعةِ القياساتِ وتقسيمِها على عددِها الإجماليّ.
- تُحسَبُ النسبةُ المئويةُ للخطأ بطرحِ القيمةِ المقيسةِ من القيمةِ المقبولةِ وتقسيمِ الحاصلِ على القيمةِ المقبولةِ مع الضربِ بمئة.
- تتألفُ الأرقامُ المعنويةُ لعددٍ معينٍ من جميعِ المنازلِ المؤكدةِ مضافًا إليها منزلةٌ واحدةٌ أخيرةٌ مقدَّرةٌ وغيرُ مؤكَّدة. وهناك عددٌ من القواعدِ المنطقيةِ يجبُ اعتمادُها للتمكنِ من تحديدِ عددِ الأرقامِ المعنويةِ في الأعدادِ المشتملةِ على أصفار.
- يقرَّبُ الجوابُ بعد كلِّ عمليةِ جمعٍ أو طرحٍ بحيثُ لا يزيدُ فيه عددُ المنازلِ إلى يمينِ الفاصلةِ العشريةِ عن عددِها في القياسِ الأقلِّ منازل.
- مُعامِلاتُ التحويلِ أرقامٌ تامةٌ ومؤكَّدةٌ، وهي لا تَحدُّ من عددِ الأرقامِ في أيِّ عمليةٍ حسابية.
- يُكتبُ العددُ في الترميزِ العلميِّ بهذا الشكل: $M \times 10^n$، حيثُ M أكبرُ من 1 أو تساوي 1 لكنها أقلُّ من عشرة، و n عددٌ صحيح.
- تُعدُّ الكميتانِ متناسبتينِ طردًا إذا كانَ حاصلُ قسمتِهما قيمةً ثابتة. ويكونُ الرسمُ البيانيُّ للمتغيِّرينِ في هذه الحالةِ خطًّا مستقيمًا يمرُّ بنقطةِ الأصلِ (0.0).
- تُعدُّ الكميتانِ متناسبتينِ عكسيًّا إذا كانَ حاصلُ قسمتِهما قيمةً ثابتة. ويكونُ الرسمُ البيانيُّ للمتغيرينِ في هذه الحالةِ على شكلِ منحنى قطعٍ زائد.

**المفردات**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| أرقامٌ معنوية | (46) significant figures | تناسبٌ عكسيّ | (56) inversely proportional | النسبةُ المئويةُ للخطأ | (44) percent error |
| الترميزُ العلميّ | (50) scientific notation | الدقة | (43) accuracy | | |
| تناسبٌ طرديّ | (55) directly proportional | الضبط | (43) precision | | |

## مراجعةُ المفاهيم

1. بمَ تختلف المعلومةُ الكميةُ عن المعلومةِ النوعية؟
2. ما الفرضية؟
3. أ. ما النموذجُ، بالمفهوم العلميّ؟
   ب. كيف تفرّقُ بين النموذجِ والنظرية؟
4. ما أهميةُ أن يكونَ لنظامِ القياس معيارٌ دوليّ؟
5. كيف تختلفُ الكميةُ عن الوَحدة؟ اشرحِ الفرقَ بمثالين.
6. اذكرِ الوحداتِ السبعةَ الأساسيةَ لنظامِ SI والكمياتِ التي تمثلُها.
7. ما المكافىءُ العدديُّ لكلٍّ من البادئاتِ الدوليةِ في نظامِ SI:
   أ. kilo ج. mega هـ. milli
   ب. centi د. micro
8. أعطِ من نظامِ SI الوحدةَ الأكثرَ ملاءمةً للتعبيرِ عن الطولِ في كلٍّ من الحالاتِ التالية:
   أ. عرضُ صالةٍ رياضية
   ب. طولُ إصبع
   ج. المسافةُ الفاصلةُ بين مدينتِك وحدودِ أقربِ محافظة
   د. طولُ خليةِ بكتيريا
9. أيُّ وحدةٍ من نظامِ SI أكثرُ ملاءمةً لقياسِ الكتلةِ في كلٍّ من الأجسامِ التالية:
   أ. طاولة
   ب. درهم
   ج. كوبٌ سعتُه 250 mL
10. اشرحْ لماذا لم تُعرَّفِ الثانيةُ قياسًا على طولِ اليوم؟
11. أ. ما الوحدةُ المشتقة؟
    ب. ما الوحدةُ المشتقةُ للمساحةِ في نظامِ SI ؟
12. أ. اذكرْ وحدتينِ مشتقتينِ للحجمِ في نظامِ SI .
    ب. اذكرْ وحدتينِ مشتقتينِ للحجمِ خارجَ نظامِ SI، واشرحْ علاقتَهما بالسنتيمترِ المكعَّب.
13. أ. لماذا تختلفُ وحدةُ قياسِ الكثافةِ في الغازاتِ عن وحدةِ قياسِ الكثافةِ في السوائلِ والموادِّ الصُّلبة؟
    ب. سمِّ وحدتينِ اثنتينِ تُستعملانِ للكثافة.
    ج. لماذا يتمُّ تعيينُ درجةِ الحرارةِ عند قياسِ الكثافة؟
14. أ. أي الموادِّ الصُّلبةِ المدرجةِ في **الجدولِ 2-4** تطفو على سطحِ الماء؟
    ب. أيُّ السوائلِ يغوصُ في الحليب؟
15. أ. عَرِّفْ مُعاملَ التحويل.
    ب. كيف يُستعمَلُ مُعاملُ التحويل.
16. قارنْ بين الدقةِ والضبط.
17. أ. اكتبِ المعادلةَ المستعملةَ في حسابِ النسبةِ المئويةِ للخطأ.
    ب. في أيِّ حالةٍ تكونُ النسبةُ المئويةُ للخطأِ ذاتَ قيمةٍ سالبة؟
18. كيف يُحسبُ معدلُ مجموعةٍ من القيم؟
19. ماذا نعني بقياسِ الكتلةِ المعبَّرِ عنه بالصيغةِ 4.6 g ± 0.2 g ؟
20. لنفترضْ أن لدينا مخبارًا مدرَّجًا لم يعيَّر بشكلٍ صحيح. كيف يؤثرُ ذلك على نتائجِ قياسٍ معين؟ ما تأثيرُ ذلك على الحساباتِ الناتجةِ من استخدامِ هذه القياسات؟
21. قرِّبْ كلاًّ من القياساتِ التاليةِ إلى الرقمِ المعنويِّ المطلوب:
    أ. 67.029 g إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنوية.
    ب. 0.15 L إلى رقمٍ معنويٍّ واحد.
    ج. 52.8005 mg إلى خمسةِ أرقامٍ معنوية.
    د. 3.17497 mol إلى ثلاثةِ أرقامٍ معنوية.
22. اذكرِ القواعدَ التي تحكمُ عددَ الأرقامِ المعنويةِ في كلٍّ من العملياتِ التالية:
    أ. الجمعُ والطرح
    ب. الضربُ والقسمة
23. ما الشكلُ العامُّ لكتابةِ الأعدادِ في الترميزِ العلميّ؟
24. أ. بشكلٍ عام، ما المعادلةُ التي تربطُ الكمياتِ المتناسبةَ طردًا؟
    ب. في التناسبِ الطرديِّ ماذا يحصلُ للمتغيِّرِ الثاني عند زيادةِ الأول؟
25. أ. اذكرِ المعادلةَ العامةَ التي تربطُ بين الكمياتِ المتناسبةِ عكسيًّا؟
    ب. في التناسبِ العكسيِّ ماذا يحصلُ للمتغيِّرِ الثاني عند زيادةِ الأول؟
26. ضع، في الترتيبِ الصحيح، الخطواتِ الأربعَ التاليةَ المستعملةَ في حل المسألة: أحسب، أخطط، أقيِّم، أحلِّل.

## مسائل

### الحجمُ والكثافة

**27.** ما حجمُ جسمٍ، بالمترِ المكعَّب، إذا كانَ طولُهُ 0.25 m وعرضُهُ 6.1 m وارتفاعُهُ 4.9 m؟

**28.** ما كثافةُ مادةٍ إذا كانتْ كتلتُها 5.03 g وحجمُها 3.24 mL؟ (ملاحظة: انظرِ المسألةَ النموذجية 2-1)

**29.** ما كتلةُ عيِّنةٍ من مادةٍ حجمُها $55.1\ cm^3$ وكثافتُها $6.72\ g/cm^3$؟

**30.** إذا كانتِ الكثافةُ لعيِّنةٍ من إحدى الموادِّ 0.824 g/mL وكتلتُها 0.451 g، كم يكونُ حجمُ هذه العيِّنة.

### مُعاملُ التحويل

**31.** ما عددُ الجراماتِ في 882 $\mu g$؟ (ملاحظة: انظرِ المسألةَ النموذجية 2-2).

**32.** كم mL في 0.603 L؟

**33.** تساوي كثافة الذهب $19.39\ g/cm^3$.

أ. ما حجمُ عيِّنةٍ من الذهبِ بالـ $cm^3$ إذا كانت كتلتُها تساوي 0.715 kg؟

ب. إذا كانت عيِّنةُ الذهبِ هذه بشكلِ مكعَّب، ما طولُ كلِّ ضلعٍ بالـ cm؟

**34.** أ. كم km في 92.25 cm .

ب. حوِّلِ الجوابَ من km إلى cm.

### النسبةُ المئويةُ للخطأ

**35.** قاسَ متعلِّمٌ كتلةَ عيِّنةٍ من مادةٍ معيَّنةٍ، فوجدَها 9.67 g، احسبِ النسبةَ المئويةَ للخطأ، إذا كانتِ القيمةُ الصحيحةُ للكتلةِ 9.82 g. (ملاحظة: انظرِ المسألةَ النموذجية 2-3)

**36.** إذا كانتْ كثافةُ الكالسيوم $1.54\ g/cm^3$، ما النسبةُ المئويةُ للخطأِ في حسابِ كثافةٍ $1.25\ g/cm^3$ بالاعتمادِ على تجربةٍ مختبرية.

**37.** ما النسبةُ المئويةُ للخطأِ في قياسٍ قدرُهُ 0.229 cm إذا كانتِ القيمةُ الصحيحةُ 0.225 cm؟

### الأرقام المعنوية

**38.** ما عددُ الأرقامِ المعنويةِ في كلٍّ من القياساتِ التالية: (ملاحظة: انظرِ المسألةَ النموذجية 2-4)

أ. 0.4004 mL ج. 1.000 30 km

ب. 6000 g د. 400. mm

**39.** احسبْ مجموعَ الرقمين: 6.078 g و 0.3329 g

**40.** اطرحْ 7.11 cm من الرقمِ 8.2 cm (ملاحظة: انظرِ المسألةَ النموذجية 2-5).

**41.** ما حاصلُ ضربِ الرقمين: 0.8102 m و 3.44 m؟

**42.** اقسمْ 94.20 g على 3.167 22 mL.

### الترميزُ العلميّ

**43.** اكتبِ الأرقامَ التاليةَ بطريقةِ الترميزِ العلميّ:

أ. 0.000 673 0

ب. 50 000.0

ج. 0.000 003 010

**44.** هذه الأرقامُ معطاةٌ بالترميزِ العلميّ، اكتبْها بالطريقةِ العادية:

أ. $7.050 \times 10^{-3}$

ب. $4.000\ 05 \times 10^{7}$ mg

ج. $2.350\ 0 \times 10^{4}$ mL

**45.** أجرِ العمليةَ الحسابيةَ التاليةَ وأعطِ الجوابَ بطريقةِ الترميزِ العلميِّ مع العددِ الصحيحِ للأرقامِ المعنوية:

$$\frac{6.124\ 33 \times 10^{6}\ cm^3}{7.15 \times 10^{-3}\ m}$$

**46.** عيِّنةٌ كتلتُها $2.03 \times 10^{-3}$g وكثافتُها $9.133 \times 10^{-1}\ g/cm^3$، احسبْ حجمَها مستخدمًا طريقةَ الخطواتِ الأربعِ في حلِّ المسألة (ملاحظة: انظرِ المسألةَ النموذجية 2-6).

## مراجعةٌ متنوعة

**47.** وجدَ رجلٌ أنَّ كتلتَهُ 100.6 kg فتابعَ حِميتَه، وبعد عدةِ أشهر وجدَ كتلتَهُ 96.4 kg. استعملِ الترميزَ العلميَّ في كتابةِ كلٍّ من هذه الأرقام، ثم احسبْ عددَ الكيلوجرامات التي اختُزلتْ نتيجةَ الحمية.

**48.** ما حجمُ مبنًى له الأبعادُ التالية: الطولُ $1.07 \times 10^2$ m، العرضُ 31 m، الارتفاعُ $4.25 \times 10^2$ m؟

**49.** ما كثافةُ جسمٍ كتلتُهُ 57.6 g وحجمُهُ $40.25\ cm^3$؟

**50.** قاسَ متعلِّمٌ كتلةَ قطعةِ سكر، فوجدَها 0.947 mg. حوِّلْ تلك الكميةَ الى جراماتٍ وكيلوجرامات.

**51.** حسبَ متعلِّمٌ كثافةَ الحديدِ باستعمالِ وسائلَ مخبريةٍ لقياسِ الكتلةِ والحجمِ فوجدَها $6.80\ g/cm^3$. لكنَّ القيمةَ الصحيحةَ بحسبِ الدليلِ هي $7.86\ g/cm^3$. احسبِ النسبةَ المئويةَ للخطأ.

## بحثٌ وكتابة

**52.** بماذا يختلفُ نظامُ SI عن النظامِ المتريِّ الذي كانَ يُستعملُ معيارًا للمقاييس. ما الحاجةُ إلى نظامِ SI ؟

**53.** ما معنى المعيارِ ISO 9000؟ وما تأثيرُهُ في الصناعةِ على المستوى الدوليّ؟

## التقويمُ البديل

**54.** **الأداء** اطلبْ من المعلّم ثلاثَ عيناتٍ لفلزّاتٍ مختلفة. قِسِ الكتلةَ والحجمَ لكلٍّ منها، واحسبْ كثافةَ كلِّ فلزٍّ من البيانات المقيسة. (ملاحظة: استعملْ طريقةَ إزاحةِ الماءِ لقياسِ حجمِ العينات).

**55.** استعنْ، للإجابةِ عمّا يلي بالمعطياتِ الواردةِ في بطاقةِ الحقائقِ الغذائيةِ المرفقة:

أ. استعملِ البياناتِ المعطاةَ عن جراماتِ الدهنِ والسعراتِ الحراريةِ لتحسبَ مُعاملَ تحويلٍ قائمٍ بين هاتين الوحدتين.

ب. احسبِ الكتلةَ بالكليوجرامِ لعشرينَ حصةً من الطعام.

ج. احسبْ كميةَ البروتينِ بالميكروجرامِ لحصةٍ واحدة.

د. ما عددُ الأرقامِ المعنويةِ في الجوابِ عن السؤالِ (أ)؟ ولماذا؟

### حقائقُ غذائية

مقدارُ الحصةِ 3/4 الكوب (30 g)

عددُ الحصصِ في الوعاءِ 14 تقريبًا

| الكميةُ بالحصةِ الواحدة | ذُرة مطحونة | مع نصف كوبٍ من الحليب الخالي من الدسم |
|---|---|---|
| **السعراتُ الحرارية** | 120 | 160 |
| السعراتُ الحراريةُ من الدهون | 15 | 20 |
| | % القيمةُ اليومية | |
| **إجماليُّ الدهون** 2g | 3% | 3% |
| الدهونُ المشبعة 0g | 0% | 0% |
| **كولسترول** 0mg | 0% | 1% |
| **صوديوم** 160mg | 7% | 9% |
| **بوتاسيوم** 65mg | 2% | 8% |
| **إجماليُّ النشويات** 25g | 8% | 10% |
| الأليافُ الغذائيّة 3g | | |
| السكاكر 3g | | |
| نشويّاتٌ أخرى 11g | | |
| **بروتين** 2g | | |

الوحدة

# 2

# تنظيمُ المادَّة



الفصول



## ما قالَهُ رونالد هوفمان، حولَ دراسةِ الذرةِ بشكلٍ غيرِ مباشر

إنَّ معرفتَنا لذرّاتِ جُزيءٍ معيَّن، وكيفيةِ ترابطِها فيما بينها، وشكلِها الثلاثيِّ الأبعادِ، هي إلى حدٍّ بعيدٍ معرفةٌ غيرُ مباشرة.

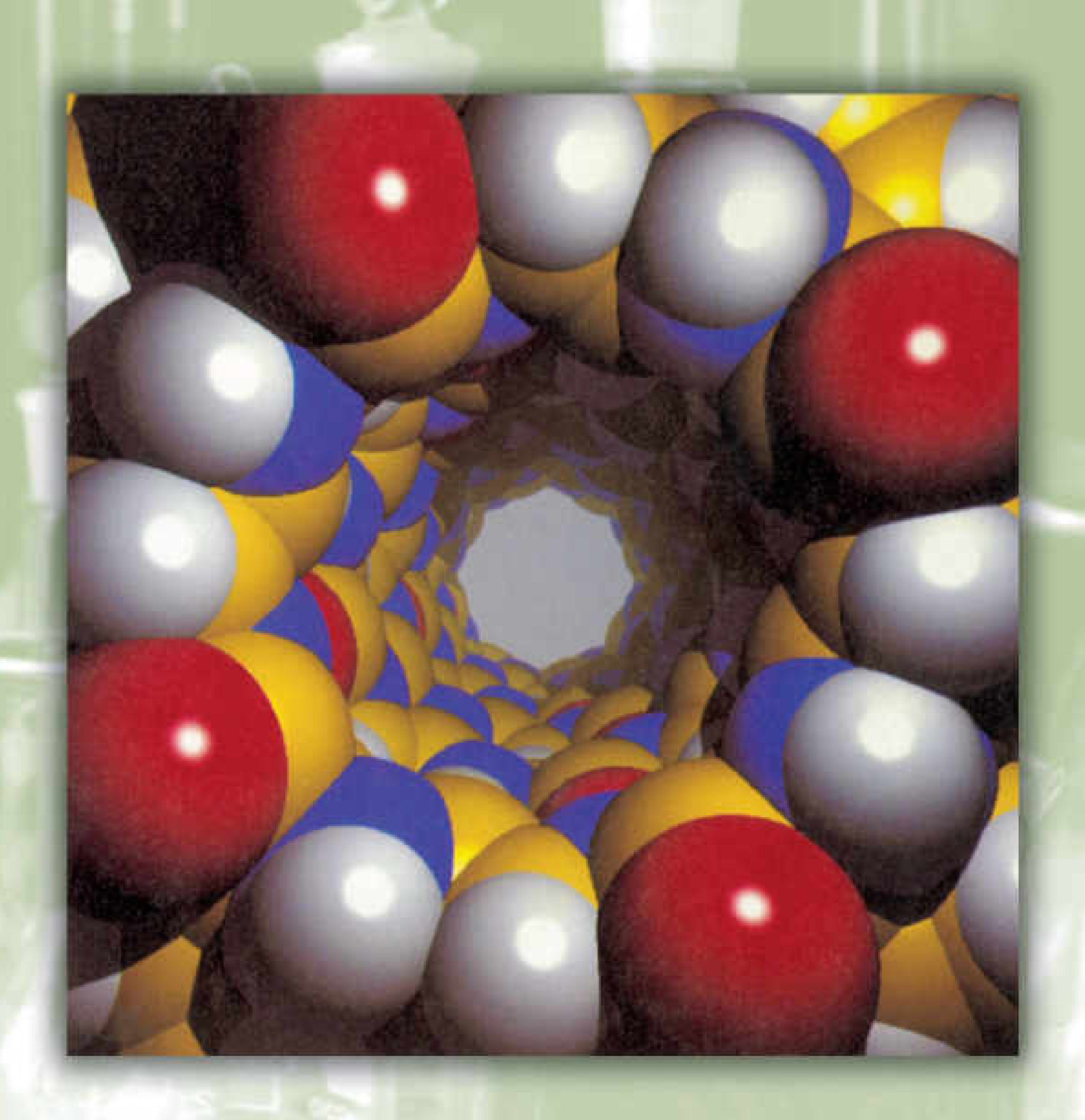
إننا نستخدمُ أجهزةً مختلفةً (ضوئية غالبًا) لاستثارةِ الجزيئاتِ وقياسِ مدى استجابتِها.

إنَّ مهارةَ الكيمياءِ التحليليةِ في معرفةِ الأمورِ من دونِ رؤيتِها لَهي إنجازٌ عظيمٌ من إنجازاتِ العصر.

(مجلةُ العلوم: انتصارُ الاكتشاف)

الفصــل 3

# الذّرّات:
# وحداتُ بناءِ المادة



**الذرّةُ هي أصغرُ جسيمٍ من العنصرِ**
**يحتفظُ بالخواصِّ الكيميائيةِ لهذا العنصر**

القســـم 1-3

# الذرّة: من فكرةٍ فلسفيةٍ إلى نظريةٍ علميّة

## النواتجُ التعليمية

- يُفسِّرُ قانونَ حفظِ الكتلة، وقانونَ النِّسبِ الثابتة، وقانونَ النِّسبِ المضاعفة.
- يُلخِّصُ النِّقاطَ الخمسَ الأساسية لنظريةِ دالتون الذرِّية.
- يُفسِّرُ العلاقةَ بين نظرية دالتون الذريّةِ وبين القوانينِ الثلاثةِ (قانونِ حفظِ الكتلة، وقانونِ النِّسبِ الثابتة، وقانونِ النِّسبِ المضاعفة).

عندما تَسحقُ مكعَّبًا من السكَّرِ، ترى أنه مؤلَّفٌ من جُسَيماتٍ صغيرةٍ من السكّر. وإذا حوَّلتَها بالطحنِ إلى مسحوقٍ ناعمٍ، تستطيعُ القولَ إن كلاًّ من هذه الجسيماتِ البالغةِ الصِّغرِ لا تزالُ سكَّرًا. أما إذا عمدتَ إلى إذابةِ السكرِ في الماءِ فإنكَ لا تراهُ، حتى لو نظرتَ في هذا المحلولِ من خلالِ مجهرٍ قويّ. لكنْ إذا تذوَّقتَ هذا المحلولَ ستتأكدُ أنَّ السكرَ لا يزالُ موجودًا فيه. إنَّ ملاحظاتٍ كهذه وغيرَها، دفعتْ بالمفكِّرينَ الأوائلِ إلى التأملِ في طبيعةِ المادة: هل المادّةُ وحدةٌ متواصلةٌ يمكنُ تجزئتُها إلى ما لا نهاية؟ أم يمكنُ تجزئتُها حتى الوصولِ إلى جُسَيمٍ أساسيٍّ غيرِ مرئيٍّ لا يمكنُ تجزئتُهُ فوقَ ذلك؟

تعودُ النظريةُ الجُسيميةُ للمادةِ إلى سنةِ 400 ق. م. كانَ وراءَها بعضُ المفكِّرينَ من الإغريقِ أمثالِ ديمقريطس الذي أطلقَ على هذا الجُسَيمِ الأساسيِّ اسمَ الذرّة (atom باليونانية، وتعني غيرُ قابلٍ للتجزئة). أرسطو كانَ من الجيلِ الذي تلا ديمقريطس، وكانَ لأفكارِهِ تأثيرٌ على الحضارةِ الغربيةِ، لكنه لم يكنْ يعتقدُ بوجودِ الذراتِ، بل كانَ يرى أنَّ المادةَ متواصلةٌ، أي لا تتكوّنُ من وحداتٍ صغيرة، وظلَّ رأيُهُ سائدًا حواليَ 2000 سنة. لم يدعِّم أرسطو وديمقريطس رأييهما بالتجاربِ العلميةِ، فبقيتْ كلٌّ من الفكرتينِ فرضيةً حتى القرنِ الثامنَ عشرَ، حينَ جمعَ العلماءُ الدلائلَ التي أدّتْ إلى النظريةِ الذرّيةِ للمادة.

## أساسياتُ النظريةِ الذرّية

في نهايةِ القرنِ الثامنَ عشرَ، تقبَّلَ جميعُ الكيميائيينَ فعليًّا التعريفَ الحديثَ للعنصرِ كمادةٍ لا تتفككُ بوسائلَ كيميائيةٍ عادية. وكانَ واضحًا أنَّ العناصرَ تتحدُ لتكوِّنَ مركَّباتٍ لها خواصٌّ فيزيائيةٌ وكيميائيةٌ مختلفةٌ عن العناصرِ المكوِّنةِ لها. وكانَ هناك خلافٌ حولَ السؤالِ التالي: هل العناصرُ تتحدُ دائمًا بالنسبِ نفسِها عندما تشكِّلُ مركَّبًا معيَّنًا؟

إنَّ تحوُّلَ أيِّ مادّةٍ إلى مادّةٍ جديدةٍ أو أكثرَ يُسمّى التفاعلَ الكيميائيَّ. في سنةِ 1790 كانَ التوجهُ الجديدُ في دراسةِ المادةِ قائمًا حولَ التركيزِ على التحليلِ الكمِّيِّ للتفاعلِ الكيميائيِّ. لكنَّ الباحثينَ، بمساعدةِ الموازينِ المُطوَّرة، بدأوا يقيسونَ بدقّةٍ كُتَلَ العناصرِ والمركَّباتِ التي كانوا يدرسونَها. فأدّى ذلك إلى اكتشافِ قوانينَ أساسية، كانَ أحدُها **قانونُ حفظِ الكتلة** law of conservation of mass الذي ينصُّ على أنَّ الكتلةَ لا تُستحدثُ ولا تَفنى خلالَ تفاعلاتٍ كيميائيةٍ أو تغيُّراتٍ فيزيائيةٍ عادية.

هذا الاكتشافُ تبعَهُ مباشرةً التأكيدُ بأنَّ المُركَّبَ الكيميائيَّ النقيَّ الصِّرفَ مؤلَّفٌ من نِسبٍ محددةٍ من العناصرِ، بغضِّ النظرِ عن المكانِ الذي وُجدَ فيه أو الطريقةِ التي تكوَّنَ بها. كلوريدُ الصوديوم، مثلاً، المعروفُ بملحِ الطعام (**الشكل 1-3**)، يتكوّنُ، على الدوامِ، من حيثُ الكتلة، من 39.34% من الصوديوم (Na) و60.66% من الكلور (Cl). والحقيقةُ التي تقولُ



**الشكل 1-3** كلُّ بلورةٍ من بلوراتِ الملحِ المعروضةِ هنا تحتوي كتلتُها تمامًا على 39.34% من الصوديوم (Na) و60.66% من الكلور (Cl).

إنَّ المركَّبَ الكيميائيَّ يحتوي على العناصرِ نفسِها بالنسبِ الكتليةِ نفسِها. بغضِّ النظرِ عن حجمِ العيِّنةِ أو مصدرِها، تُعرفُ **بقانونِ النسبِ الثابتة** law of definite proportions.

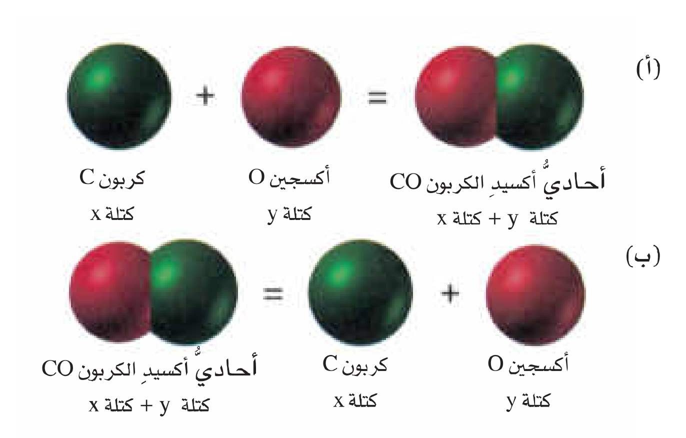
هذه النتيجةُ، كانَ الجلدكي، الكيميائيُّ العربيُّ المتوفَّى سنة 1342 م، قد توصَّلَ إليها. فقد قال: إنَّ تفاعلَ الموادِّ فيما بينها يَحْدُث بكتلٍ ثابتةٍ فقط. وكانَ معلومًا أيضًا أنَّه يمكنُ لعنصرين أن يتحدا أحيانًا ليكوِّنا أكثرَ من مركَّبٍ واحد. فعُنصرا الكربونِ والأكسجينِ، مثلاً، يكوِّنانِ مُركَّبين، هما أحادي أكسيدِ الكربونِ وثنائي أكسيدِ الكربون. في أحادي أكسيدِ الكربونِ يتحدُ 1.33 g من الأكسجينِ مع 1.0 g من الكربونِ. أما في ثنائي أكسيدِ الكربونِ فيتحدُ 2.66 g من الأكسجينِ مع 1.0 g من الكربون، أي إنَّ نسبةَ كتلِ الأكسجينِ إلى بعضِها في المركَّبينِ هيَ 2.66:1.33 أو 2:1. وهذا يوضحُهُ **قانونُ النسبِ المضاعفةِ** law of multiple proportions الذي يفيدُ بأنه إذا تكوّنتْ مركَّباتٌ من اتحادِ عنصرينِ محدَّدينِ فإنَّ نسبةَ كتلِ الواحدِ إلى كتلِ الآخرِ في تلك المركَّباتِ تبقى دومًا على شكلِ نسبةِ عددينِ صحيحينِ صغيرينِ إلى بعضِهما.

## نظريةُ دالتون الذرّية

في العامِ 1808، اقترحَ المدرِّسُ الإنكليزيُّ جون دالتون تفسيرًا لثلاثةِ قوانينَ علمية: قانونِ حفظِ الكُتلةِ، وقانونِ النِّسبِ الثابتةِ، وقانونِ النِّسبِ المضاعفة. رأى دالتون أنَّ العناصرَ تتكوَّنُ من ذرَّات، وأنَّ أعدادًا صحيحةً فقط من هذه الذرّاتِ تستطيعُ أن تتحدَ لتكوِّنَ مركَّبات. ويمكنُ تلخيصُ نظريتِهِ بما يلي:

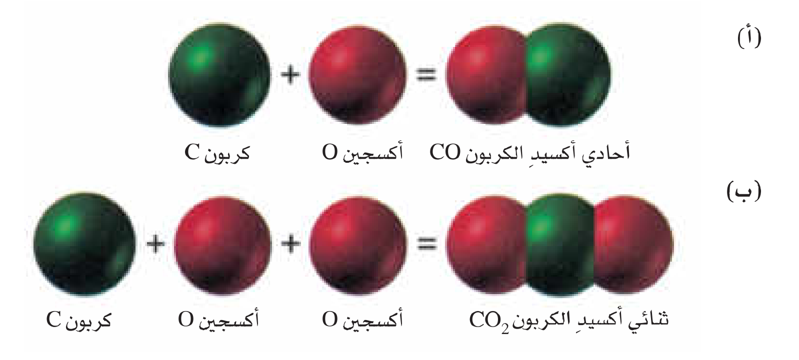
**1.** تتكوَّنُ جميعُ الموادِّ من جسيماتٍ صغيرةٍ جدًّا تُدعى ذرَّات.
**2.** تكونُ ذرَّاتُ أيِّ عنصرٍ متماثلةً فيما بينها، من حيثُ الحجمُ والكتلةُ والخواصُّ الأخرى، أما ذرّاتُ العناصرِ المختلفةِ فتختلفُ من حيثُ الحجمُ والكتلةُ والخواصُّ الأخرى.
**3.** لا يمكنُ تجزئةُ الذرّاتِ، ولا استحداثُها ولا إفناؤها.
**4.** تتَّحدُ ذرّاتُ العناصرِ المختلفةِ بنِسبِ أعدادٍ صحيحةٍ وبسيطةٍ، لتكوِّنَ مركَّباتٍ كيميائية.
**5.** خلالَ التفاعلِ الكيميائيِّ، تَتحدُ الذرَّاتُ، أو تنفصلُ، أو يُعادُ ترتيبُها.

وحسبَ نظريةِ دالتون، يُفسَّرُ قانونُ حفظِ الكتلةِ على أنَّ التفاعلَ الكيميائيَّ يتعلقُ فقط باتحادِ الذراتِ أو انفصالِها أو إعادةِ ترتيبِها. وخلالَ هذه العملياتِ لا تتجزأُ الذرّاتُ، ولا تُستحدثُ ولا تفنى. هذه الفكرةُ موضَّحةٌ في **الشكل 3-2** حيثُ يظهرُ تكوينُ أحادي أكسيدِ الكربونِ من الكربونِ والأكسجينِ.




**الشكل 3-2** أ) يمكنُ لذرةٍ من الكربونِ وذرةٍ من الأكسجينِ أن تتَّحدا كيميائيًّا لتكوِّنا جزيءَ أحادي أكسيدِ الكربون CO. وتكونُ كتلةُ أحادي أكسيدِ الكربون حاصل جمعِ كتلةِ الكربونِ مع كتلةِ الأكسجين.
ب) التفاعلُ العكسيُّ يبقى صحيحًا، لأنَّ جزيءَ أحادي أكسيدِ الكربون CO يتفككُ إلى عنصرين.

من جهةٍ ثانية، يفَسَّرُ قانونُ النسبِ الثابتةِ على أساسِ أنَّ أيَّ مركَّبٍ كيميائيٍّ يتألفُ دائمًا من اتحادِ الذراتِ نفسِها، (انظرِ **الشكلَ 3-3**). أما قانونُ النِّسبِ المضاعفةِ في أكسيدَيِ الكربون، فيتمثلُ في أنَّ نسبةَ 1:2 في كتلِ الأكسجينِ ناتجةٌ من أنَّ ثنائي أكسيدِ الكربونِ يحتوي دائمًا على ضعفِ ذراتِ الأكسجينِ الموجودةِ في أحادي أكسيدِ الكربون. ويمكنُ مشاهدةُ ذلكَ في **الشكل 3-3**.




**الشكل 3-3** (أ) جزيءُ أحادي أكسيدِ الكربونِ يتكونُ دائمًا من ذرةِ كربونٍ C وذرةِ أكسجين O. (ب) جزيءُ ثنائي أكسيدِ الكربونِ يتكونُ دائمًا من ذرةِ كربونٍ واحدةٍ C وذرتيْ أكسجين 2 O. لاحظْ أنَّ جزيءَ ثنائي أكسيدِ الكربون يحتوي على ضعفَي ذراتِ الأكسجين الموجودةِ في جزيءِ أحادي أكسيدِ الكربون.

## النظريةُ الذريةُ الحديثة

لقد حوَّل دالتون فكرةَ ديمقريطس إلى نظريةٍ علميةٍ يمكنُ اختبارُها عمليًّا بربطِ الذرّاتِ بعلاقةٍ خاصّةٍ يمكنُ قياسُها، هي الكتلة. لكنِ نظريةَ دالتون لم تثبُتْ صِحتُها في جميعِ المجالات. نحنُ اليومَ نعلمُ أنَّ الذراتِ تتجزأُ إلى جسيماتٍ أصغر (يبقى قانونُ حفظِ الكتلةِ صحيحًا بالنسبةِ إلى التفاعلاتِ الكيميائيةِ العادية). سيردُ أيضًا في **القسم 3-3** أنه يمكنُ لأيِّ عنصرٍ أنْ يحتويَ على ذراتٍ بكتلٍ مختلفة. إلا أنَّ نظريةَ دالتون لم توضعْ جانبًا، بل عُدِّلتْ ليتسنّى شرحُ الملاحظاتِ الجديدة، وبقيتِ المفاهيمُ المُهمةُ التاليةُ من دونِ تغيُّر:

(1) تتكوّنُ جميعُ الموادِّ من ذراتٍ.

(2) ذراتُ أيِّ عنصرٍ تختلفُ بخواصِّها عن ذراتِ أيِّ عنصرٍ آخرَ لم يتغيَّر.





# بناءُ نموذج




ضعِ النظاراتِ الواقيةَ والبسِ المريول

**المواد**

- وعاءٌ مغطًّى بجوربٍ مُثبَّت بشريطٍ لاصق
- جسمٌ أو أكثرُ يمكنُ أنْ يحتويَهُ الوعاء
- مسطرةٌ مترية
- ميزان

## السؤال

كيف يمكنُكَ بناءُ نموذجٍ لجسمٍ غيرِ معروف (1) بالاستدلالِ عنه وهو في وعاءٍ مغلق (2) بلمسِه من دونِ رؤيتِه.

## الطريقة

1. يزوِّدُكَ المعلِّمُ بوعاءٍ مغطًّى بجوربٍ مُثبَّتٍ بشريطٍ لاصق. حاولْ أنْ تحددَ عددَ الأجسامِ التي في داخلِه، وكذلكَ الكتلةَ والشكلَ والحجمَ والتركيبَ والملمسَ لكلٍّ من هذه الأجسامِ، من دونِ نزعِ الغطاء. يمكنُكَ أن تُميلَ الوعاءَ أو تهزَّه. سجِّلْ ملاحظاتِك في جدولِ البيانات.
2. انزعِ الشريطَ اللاصقَ من أعلى الجورب. ودونَ أن تنظرَ إلى داخلِ الوعاءِ، أدْخِلْ يدَكَ فيهِ، وتلمَّسْ الأجسامَ وسجِّلْ ملاحظاتِك، كما في الخطوةِ رقم 1. كي تحصلَ على تقديراتٍ دقيقةٍ، قدِّرِ الحجمَ والكتلةَ لبعضِ الأجسامِ المعروفةِ مما ليسَ في الوعاءِ، وبعد ذلك قارنْ بينَ تقديراتِك والمقاييسِ الحقيقيةِ، باستعمالِ الميزانِ والمسطرةِ المترية.

## المناقشة

1. يستعملُ العلماءُ غالبًا أكثرَ من طريقةٍ لجمعِ البيانات. كيف تمَّ تفسيرُ ذلك في البحث؟
2. صنِّفْ ملاحظاتِك على أسسٍ نوعيةٍ وكمية.
3. استخدمِ البياناتِ التي جمعتَها، وارسُمْ نموذجًا للجسمِ أو الأجسامِ التي في الوعاءِ، واكتبِ استنتاجاتِكَ باختصار.



## مراجعةُ القسم 1-3

1. صِفْ أولاً إسهاماتِ ديمقريطس في النظريةِ الحديثةِ للذرة، ثم أبرزْ إسهاماتِ دالتون.
2. عدِّدِ النقاطَ الخمسَ الأساسيةَ في نظريةِ دالتون الذرية.
3. اشرحْ قانونَ حفظِ الكتلة، وقانونَ النِّسب الثابتة، وقانونَ النسبِ المضاعَفة، بالاستنادِ إلى نظريةِ دالتون.

القســـــم 2-3

# بنيةُ الذرة

## النواتجُ التعليمية

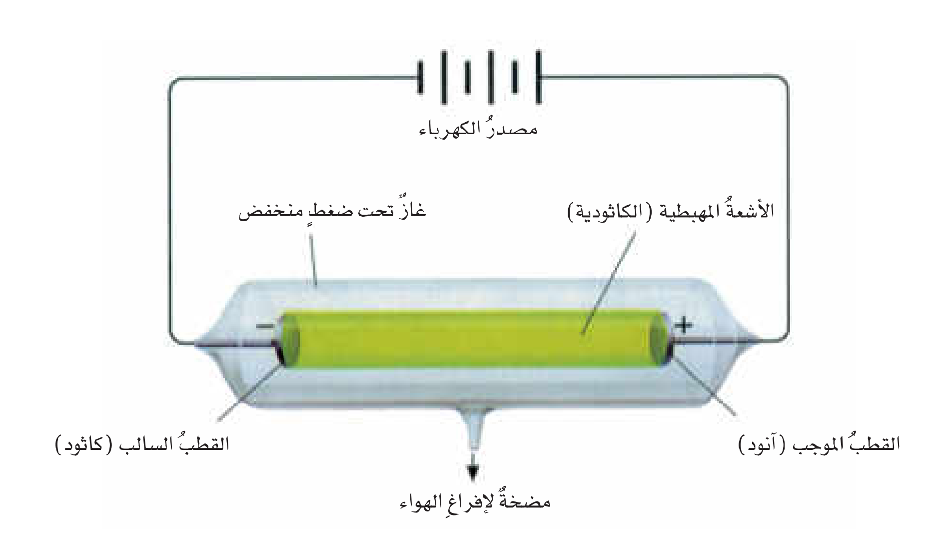
- يلخّصُ الخواصَّ الملحوظةَ لأنبوبِ الأشعةِ المهبطيةِ (أشعةِ الكاثود) التي أدتْ إلى اكتشافِ الإلكترون.
- يلخّصُ التجربةَ التي قامَ بها رذرفورد وزملاؤهُ وأدت إلى اكتشافِ النواةِ.
- يعدِّدُ خصائصَ كلٍّ من البروتونات والنيوترونات والإلكترونات.
- يعرِّفُ الذرّة.

اعتقدَ جون دالتون أنَّ الذرّات لا تتجزّأ، لكنَّ الباحثين توصّلوا، في أواخرِ القرن السابعَ عشرَ، إلى نتيجةٍ مغايرة. أفسحَ التقدُّمُ العلميُّ المجالَ أمامَ اكتشافٍ أعمقَ للمادة، فاتّضح أنَّ الذرّاتِ هي، في الحقيقةِ، مؤلّفةٌ من عدةِ أنواعٍ أساسيةٍ من الجسيماتِ الصغيرة، وأنَّ عددَ هذه الجُسَيماتِ وكيفيةَ ترتيبِها داخلَ الذرّةِ يُحدّدانِ خواصَّها الكيميائية. وفي وقتِنا الحاضر، تُعرَّف **الذرَّةُ** atom على أنها أصغرُ جُسَيمٍ من العنصرِ يحتفظُ بالخواصِّ الكيميائيةِ لهذا العنصر.

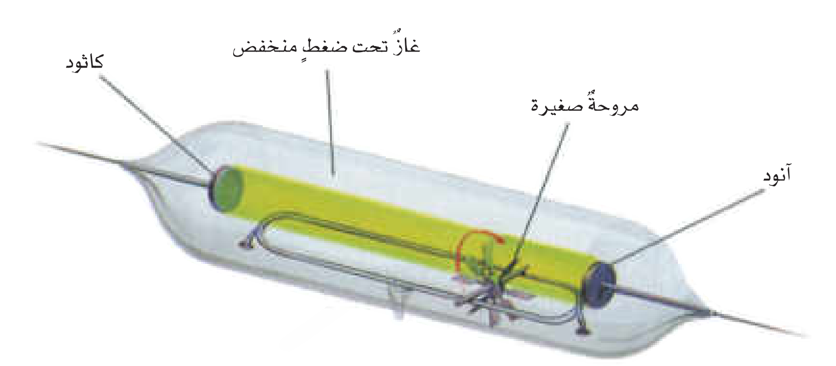
تتألفُ جميعُ الذراتِ من جزءين. الأولُ هو النواةُ، وهي الجزءُ الأصغرُ الواقعُ في وسطِ الذرةِ، وتحتوي كحدٍّ أدنى، على جسيمٍ واحدٍ ذي شحنةٍ موجبةٍ يُسمّى البروتون، وعلى واحدٍ أو أكثرَ من الجسيماتِ المتعادلةِ الشحنةِ التي تُسمّى النيوترونات. أما الجزءُ الثاني فهو المنطقةُ التي تحيطُ بالنواةِ، وتشغلُها جسيماتٌ ذاتُ شحنةٍ سالبةٍ تُدعى الإلكتروناتِ، وهذا الجزءُ كبيرٌ جدًّا مقارنةً بحجمِ النواة. وفي الغالبِ، تعرفُ البروتوناتُ والنيوتروناتُ والإلكتروناتُ بالجُسَيماتِ دونَ الذريةِ.

## اكتشافُ الإلكترون

إنَّ أولَ اكتشافٍ للجُسَيماتِ دونَ الذرّيةِ جاءَ نتيجةً للبحثِ في العلاقةِ بين الكهرباءِ والمادّة. في أواخرِ القرنِ التاسعَ عشرَ، أُجريتْ تجاربُ عديدةٌ على كيفيةِ مرورِ تيارٍ كهربائيٍّ خلالَ غازاتٍ متنوعةٍ تحتَ ضغطٍ منخفض. (الغازاتُ في حالِ وجودِها تحتَ الضغطِ الجويِّ العاديِّ لا تكونُ موصلةً جيدةً للكهرباء). أُجريتْ هذه التجاربُ في أنابيبَ زجاجيةٍ، مثلِ الأنابيبِ الموجودةِ في **الشكل 3-4** التي تسمّى أنابيبَ الأشعةِ المَهْبطيةِ أو الكاثودية.




**الشكل 3-4** هذا شكلٌ مُبسَّطٌ لأنبوبِ أشعةٍ كاثودية. تمرُّ فيه الجُسَيماتُ من القطبِ السالبِ (كاثود)، وهو معدنٌ أسطوانيُّ الشكل موصولٌ بالطرفِ السالبِ من مصدرٍ للكهرباءِ (بطارية)، إلى القطبِ الموجبِ (آنود)، وهو معدنٌ أسطوانيٌّ أيضًا موصولٌ بالطرفِ الموجبِ من مصدرِ الكهرباءِ نفسِه.




**الشكل 5-3** مروحةٌ صغيرةٌ وُضعت في مجرى أشعةٍ كاثودية، تتجهُ حركتُها من القطبِ السالبِ إلى القطبِ الموجبِ. حركةُ المروحةِ هذه جعلتِ العلماءَ يستنتجونَ أنَّ الإشعاعاتِ الكاثوديةَ لها كتلة.

## الإشعاعاتُ الكاثوديةُ والإلكترونات

لاحظَ الباحثونَ أنَّه، عند تمريرِ التيارِ الكهربائيِّ عبرَ أنبوبِ الأشعةِ الكاثوديةِ، يتوهَّجُ سطحُ الأنبوبِ المواجهِ مباشرةً للقطبِ السالبِ. فافترضوا أنَّ سببَ هذا التوهجِ هو سيلٌ من الجُسَيماتِ، فأطلقوا عليهِ اسمَ الأشعةِ الكاثوديةِ. وانتقلَ هذا الشعاعُ من القطبِ السالبِ، أي المَهْبِط (الكاثود)، إلى القطبِ الموجبِ، أي المَصعدَ (الآنود)، عند مرورِ التيارِ الكهربائيِّ عبر الأنبوب. هذه التجاربُ المُبتكَرةُ لاختبارِ هذه الفَرَضيةِ أفضتْ إلى الملاحظاتِ التالية:

1. إنَّ الجسمَ الموضوعَ بين الكاثودِ والطرفِ المقابلِ من الأنبوب، كانَ له ظلٌّ على الزجاج.
2. إنَّ وضعَ مروحةٍ صغيرةٍ بين القطبينِ الكهربائيينِ جعلَ المروحةَ تتحرك. ويكونُ اتجاهُ حركتِها من الكاثودِ نحو الأنودِ (انظرِ **الشكلَ 5-3**).

هذه الحقائقُ دعَّمتْ فكرةَ وجودِ الأشعةِ الكاثوديةِ. وفضلاً عن ذلك، أظهرتْ تجربةُ المروحةِ أنَّ الأشعةَ الكاثوديةَ تملكُ كتلةً كافيةً لتحريكِ المروحةِ ودفعِها. وأدّتِ اختباراتٌ أخرى إلى معلوماتٍ إضافية.

3. إنَّ الإشعاعاتِ الكاثوديةَ انحرفتْ بواسطةِ مجالٍ مغنطيسيٍّ بطريقةٍ مماثلةٍ لانحرافِ سلكٍ كهربائيٍّ شُحِنَ بشحنةٍ سالبة.
4. إنَّ الإشعاعاتِ انحرفتْ بعيدًا عن جسمٍ ذي شحنةٍ سالبة.

هذه الملاحظاتُ أدَّت إلى فرضيةٍ تقولُ إنَّ الجُسَيماتِ التي تؤلِّفُ الإشعاعاتِ الكاثوديةَ هي جُسَيماتٌ ذاتُ شحنةٍ سالبة. وهذه الفرضيةُ دعَّمتْها بقوةٍ مجموعةٌ من التجاربِ قامَ بها الفيزيائيُّ الإنكليزيُّ جوزيف جون طومسون في العام 1897. في أحدِ أبحاثِهِ استطاعَ طومسون قياسَ النسبةِ بين شحنةِ جُسَيماتِ الأشعةِ الكاثوديةِ وكتلتِها. تبيّنَ له أنَّ هذه النسبةَ ثابتةٌ لا تتغيَّرُ، بغضِّ النظرِ عن الفلزِّ الذي استُخدمَ لصنعِ الكاثودِ، أو طبيعةِ الغازِ المُستخدَمِ داخلَ أنبوبِ الأشعةِ الكاثودية. استنتجَ طومسون أنَّ كلَّ الإشعاعاتِ الكاثوديةِ تتألَّفُ من جسيماتٍ متشابهةٍ ذاتِ شحنةٍ سالبة، هي التي أصبحتْ فيما بعد تُسمّى الإلكترونات.

## شحنةُ الإلكترونِ وكتلتُه

كشفَ اختبارُ طومسون أنَّ شحنةَ الإلكترونِ كبيرةٌ جدًّا قياسًا على كتلتِهِ الصغيرة. وأثبتَ روبرت ميليكان، الفيزيائيُّ الأمريكيُّ، في العام 1909، من خلالِ تجاربِه، أنَّ كتلةَ الإلكترون تساوي 1/2000 من كتلةِ أبسطِ نوعٍ من ذرّاتِ الهيدروجين، وهي أصغرُ ذرّةٍ معروفة. وقد أظهرتْ تجاربُ أدقُّ تمتْ لاحقًا أنَّ كتلةَ الإلكترون تساوي $9.109 \times 10^{-31}$ kg، أي 1/1837 من كتلةِ أبسطِ نوعٍ من ذرّاتِ الهيدروجين.

وأكّدتْ تجاربُ ميليكان أيضًا أنَّ الإلكترون يحملُ شحنةً كهربائيةً سالبة. ولأنَّ الأشعةَ الكاثوديةَ لها الخواصُّ نفسُها بغضِّ النظرِ عن العنصرِ المستعملِ لإنتاجِها، كانَ الاستنتاجُ أنَّ الإلكتروناتِ موجودةٌ في ذرّاتِ كلِّ العناصر. قدَّمتْ اختباراتُ الأشعةِ المهبطيةِ (الكاثودية) أدلَّةً قاطعةً على أنَّ الذرّةَ قابلةٌ للتجزئة، وأنَّ أحَد مكوِّناتِها الأساسيةِ هو الإلكترون، وهو ذو شحنةٍ كهربائيةٍ سالبة.

ما عُرفَ آنذاك عن الإلكترون قادَ إلى استدلالينِ آخرين حول بنيةِ الذرّة:

**1.** بما أنَّ الذرّةَ متعادلةُ الشحنةِ الكهربائية، ينبغي أنْ تحتويَ أيضًا على شحنةٍ كهربائيةٍ موجبةٍ لتعادلَ الإلكتروناتِ السالبة.

**2.** بما أنَّ كتلةَ الإلكترون أصغرُ بكثيرٍ من كتلةِ الذرةِ، ينبغي أنْ تحتويَ الذرةُ على جُسَيماتٍ أخرى تُشكلُ كتلتُها القسمَ الأكبرَ من كتلةِ الذرة.

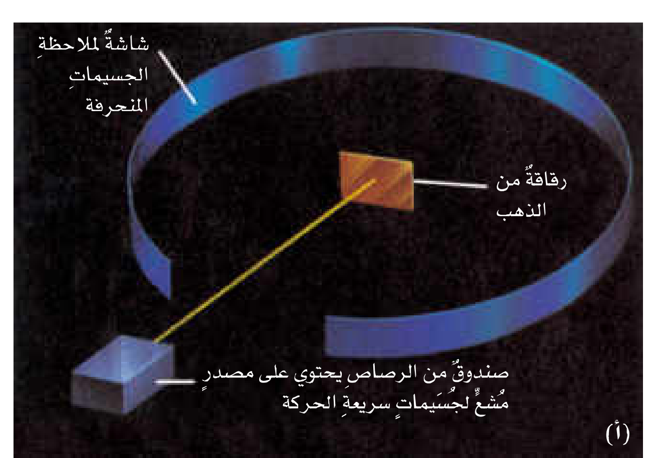
## اكتشافُ نواةِ الذرّة

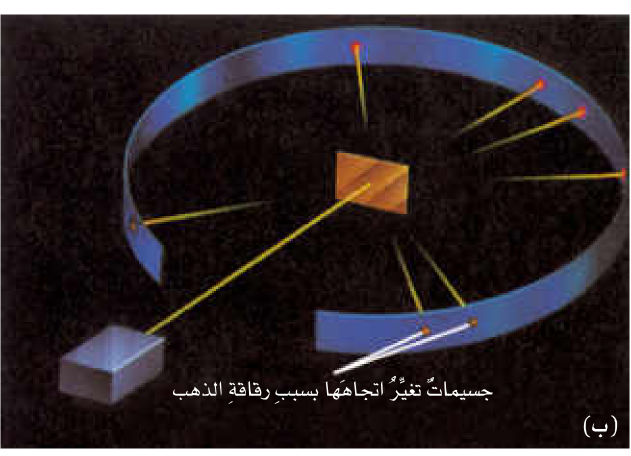
في العامِ 1911، قامَ رذرفورد ومساعدَاهُ جيجر ومارسدن بتجاربَ زوَّدتْنا بتفاصيلَ إضافيةٍ عن بنيةِ الذرة، وذلك عندما قاموا بقذفِ صفيحةٍ رقيقةٍ من الذهبِ بجُسَيماتِ ألفا السريعةِ، ذاتِ الشحنةِ الموجبةِ التي تقاربُ كتلتُها أربعةَ أضعافِ كتلةِ ذرةِ الهيدروجين. افترضَ جيجر ومارسدن أنَّ الكتلةَ والشحنةَ موزعتانِ على نسقٍ واحدٍ في أنحاءِ ذراتِ الرقاقةِ الذهبيةِ. لذلكَ، توقعا أنْ تخترقَ جسيماتُ ألفا الرقاقةَ الذهبيةَ مع انحرافٍ بسيطٍ. وهذا ما حصلَ بالنسبةِ إلى معظمِ الجسيمات. لكن عندما تفحَّصَ العلماءُ إمكانيةَ حصولِ انحرافٍ متسعِ الزاويةِ، دُهِشوا إذ وجدوا أنَّ 1 من 8000 من جسيماتِ ألفا ارتدّتْ إلى الوراءِ نحو المصدر (انظرِ **الشكلَ 6-3**).

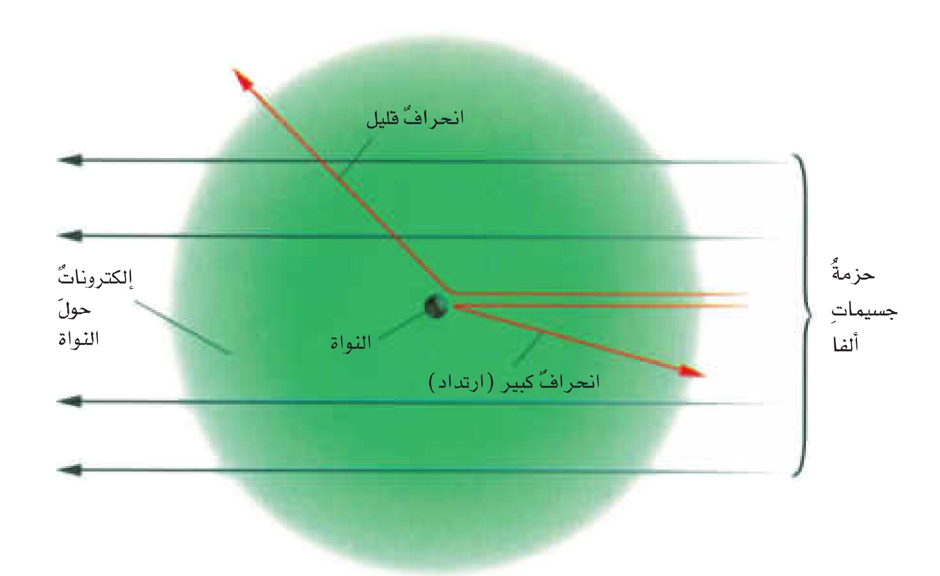
بعد حوالي سنتينِ من التفكيرِ في هذه النتيجةِ، توصَّلَ رذرفورد إلى تفسيرٍ لها. فقد وجد أنَّ جسيماتِ ألفا المرتدَّةَ تعرّضتْ لقوةٍ شديدةٍ من داخلِ الذرةِ، وتصوَّرَ أنَّ مصدرَ هذه القوةِ يحتلُّ حيِّزًا صغيرًا جدًّا، وذلك لأنَّ عددًا قليلاً جدًّا من الجسيماتِ ارتدَّ بتأثيرِ من هذه القوةِ. فاستنتجَ أن وجودَ مقدارٍ من المادةِ ذي شحنةٍ موجبةٍ وكثافةٍ عاليةٍ هو مصدرُ هذه القوةِ.

أطلقَ رذرفورد على هذا المقدارِ الموجبِ الشحنةِ من المادةِ اسمَ النواة (انظرِ **الشكلَ 7-3**). واكتشفَ رذرفورد أنَّ حجمَ النواةِ صغيرٌ جدًّا مقارنةً بحجمِ الذرةِ الإجماليّ.

**الشكل 6-3** (أ) قذفَ العالمانِ جيجر ومارسدن رقاقةً من الذهبِ بحزمةٍ من جُسَيماتِ ألفا. (ب) ارتدَّ بعضٌ من هذه الجُسَيماتِ نحو المصدرِ عند إصطدامِهِ برقاقةِ الذهبِ.






**الشكل 3-7** عددٌ قليلٌ من جسيماتِ ألفا الموجَّهة نحو الرقاقة انحرفَ عن مسارهِ مُبتعدًا عنِ النواة (الأسهم الحمر). معظمُ الجسيماتِ اخترقتِ الرقاقةَ دون عائق (الأسهم السود). علَّلَ رذرفورد ذلك بأنَّ كلَّ ذرةٍ في رقاقةِ الذهبِ تحتوي على نواةٍ صغيرةٍ بالغةِ الكثافة، ذاتِ شحنةٍ موجبةٍ محاطةٍ بإلكترونات.

فإذا اعتبرنا أنَّ النواةَ بحجمِ كرةٍ زجاجيةٍ صغيرةٍ، فإنَّ الذرةَ تكونُ بحجمِ ملعبِ كرةِ القدم. لكنْ أينَ الإلكترونات؟

اقترحَ رذرفورد، بالرغمِ من غيابِ الأدلةِ القاطعةِ لديه، أنَّ الإلكتروناتِ تحيطُ بالنواةِ ذاتِ الشحنةِ الموجبةِ، كما تحيطُ الكواكبُ بالشمس، لكنه لم يتمكنْ من شرحِ السببِ الذي يجعلُ الإلكتروناتِ تدورُ حولَ النواةِ.

## محتوى نواةِ الذرّة

تتألفُ النواةُ لدى جميعِ الذرّاتِ، عدا أبسطَ أنواعِ ذرّاتِ الهيدروجين (التي سيتمُّ شرحُها في القسم التالي)، من نوعينِ من الجُسَيمات: بروتونات ونيوترونات. والبروتون يحملُ شحنةً موجبةً مساويةً للشحنةِ السالبةِ للإلكترون. والذرّاتُ متعادلةٌ في الشحنةِ الكهربائيةِ، لأنَّ عددَ البروتوناتِ في الذرّةِ الواحدةِ يساوي عددَ الإلكتروناتِ فيها، أما النيوترون، فمتعادلُ الشحنةِ الكهربائيةِ ذاتيًّا.

تحتوي نواةُ أبسطِ ذرّةٍ من الهيدروجين على بروتونٍ واحد، ويدورُ حولَها إلكترونٌ واحد. وكتلةُ البروتون تساوي $1.673 \times 10^{-27}$ kg، وهي أكبرُ بـ 1836 مرّةً من كتلةِ الإلكترون، ومساويةٌ تقريبًا لكتلةِ ذرةِ الهيدروجين. ونجدُ، باستثناءِ ذرةِ الهيدروجينِ البسيطةِ هذه، أنَّ جميعَ أنواعِ الذرّاتِ تحتوي على عددٍ من النيوتروناتِ التي تساوي كتلةُ كلٍّ منها $1.675 \times 10^{-27}$ kg، وهو ما يفوقُ قليلاً كتلةَ البروتون.

تختلفُ ذرّاتُ العناصرِ كلُّها من حيثُ عددُ البروتوناتِ التي تحتوي عليها نواةُ كلٍّ منها، وبالتالي من حيثُ شحنتُها الموجبة. فالذي يُحدِّدُ هويةَ الذرّة، هو عددُ البروتوناتِ في نواتِها. وقد حدَّدَ الفيزيائيونَ جُسَيماتٍ دونَ ذرّيةٍ، غيرَ الإلكترون والبروتون والنيوترون، لكن تأثيرَ هذه الجُسَيماتِ على الخواصِّ الكيميائيةِ للمادةِ قليلٌ جدًّا. **الجدولُ 3-1** يلخِّصُ خواصَّ الإلكتروناتِ والبروتونات والنيوترونات.

### القوى في النواة

تتنافرُ، في الغالبِ، الجسيماتُ ذاتُ الشحنةِ الكهربائيةِ المتشابهة. نتوقعُ إذن أن تكونَ

**الجدول 3-1 خواصُ الإلكتروناتِ والبروتوناتِ والنيوترونات**

| الجسيم | الرموز | الشحنةُ الكهربائيةُ النسبية | العددُ الكتلي | الكتلةُ النسبية (و ك ذ *amu) | الكتلةُ الحقيقية (kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| إلكترون | $e^-$, ${}^{0}_{-1}e$ | −1 | 0 | 0.000 5486 | $9.109 \times 10^{-31}$ |
| بروتون | $p^+$, ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$ | +1 | 1 | 1.007 276 | $1.673 \times 10^{-27}$ |
| نيوترون | $n^\circ$ , ${}^{1}_{0}n$ | 0 | 1 | 1.008 665 | $1.675 \times 10^{-27}$ |

* 1 amu (atomic mass unit «و ك ذ» وحدة الكتلة الذرية) = $1.660\ 540 \times 10^{-27}$ kg

النـواةُ التـي تحتـوي علـى أكثرَ من بـروتـونٍ واحـدٍ غيرَ مسـتقـرة. لـكنَّ وجودَ اثنينِ من البروتوناتِ في حالةِ تقاربٍ شديدٍ يجعلُهما في حالةِ تجاذبٍ شديد. ويمكنُ أن تحتويَ النواةُ على أكثرَ من 100 بروتونٍ متقاربة، كما يمكنُ أنْ يحدثَ تجاذبٌ مماثل عندما تكونُ النيوتروناتُ قريبةً جدًا من بعضِها، أو أيضًا عندما تكونُ البروتوناتُ والنيترونات قـريبـةً مـن بـعضِـهـا. هـذه الـقـوى الـقصيرةُ المدى الموجـودةُ بين بـروتـون – نـيـوتـرون، وبروتون – بروتون، ونيوترون – نيوترون، هي التي تؤمِّنُ التماسكَ بين جسيماتِ النواةِ، وتُسمّى **القوى النووية** nuclear forces.

## أحجامُ الذرّات

من المناسبِ أنْ نعدَّ منطقةَ تواجدِ الإلكتروناتِ كسحابةٍ ذاتِ شحنةٍ سالبة. بذلكَ يكونُ نصفُ قطرِ الذرّةِ مساويًا للمسافةِ بين مركزِ النواةِ والقسمِ الخارجيِّ من هذه السحابة. ولأنَّ نصفَ القطرِ الذريِّ صغيرٌ جدًّا، نستعملُ وحدةَ قياسٍ أكثرَ ملاءَمةً لحجمِ الذرات. هذه الوحدةُ هي البيكومتر pm ($1\ \text{pm} = 10^{-12}\ \text{m} = 10^{-10}\ \text{cm}$). إنَّ أنصافَ أقطارِ الذراتِ تراوحُ بين 40 pm و 270 pm، وأما نصفُ قطرِ النواةِ، في المقابل، فهو أصغرُ بكثير، هو في حدودِ 0.001 pm. ومن الجديرِ بالذكرِ أنَّ كثافةَ النواةِ عاليةٌ جدًّا، فهي في حدودِ $2 \times 10^{8}$ metric tons/cm$^3$. لماذا تمَّ التعبيرُ عن كثافةِ النواةِ بهذه الوحدة؟

## مراجعةُ القسم 3-2

**1.** عرِّفْ ما يلي:
أ. الذرّة
ب. الإلكترون
ج. النواة
د. البروتون
هـ. النيوترون

**2.** ما أهمُّ الاستنتاجاتِ التي توصَّلَ إليها العلماءُ التاليةُ أسماؤهم، وأدتْ إلى تطويرِ النظريةِ الذرّيةِ الحديثة:
أ. طومسون
ب. ميليكان
ج. رذرفورد

**3.** قارنْ بين الأنواعِ الثلاثةِ للجُسَيماتِ دونَ الذرّية، من حيثُ موقعُها في الذرّةِ وكتلتُها وشحنتُها النسبية.

**4.** لماذا تمَّ توصيلُ أنبوبِ الأشعةِ الكاثوديةِ بمضخةٍ لإفراغِ الهواءِ كما في الشكل 3-4؟

**5.** داخلَ أنبوبِ الأشعةِ الكاثودية، حدِّدْ شحنةَ كلٍّ من:
أ. الآنود
ب. الكاثود
وعلِّلْ إجابتك.

## القســـم 3-3

## النواتجُ التعليمية

- يعرِّفُ النظائر.
- يُعرِّفُ العدد الذرّي والعدد الكتليّ.
- يُعيِّنُ عددَ البروتونات والنيوترونات والإلكترونات لنويّةٍ محدّدةِ الهوية.

# تعدادُ الذّرات

إنَّ غازَ النيون Ne،الذي يستعملُ في اللافتاتِ المضاءةِ، هو عنصرٌ يشكِّلُ حيِّزًا ضئيلاً من الغلافِ الجويّ. وهو موجودٌ في الهواءِ الجافِّ بنسبةٍ ضئيلةٍ تعادلُ 0.002%. ورُغمَ ذلك، هناك $5 \times 10^{17}$ ذرّة من النيونِ في كل شهيقٍ من النفَسِ. وفي معظمِ التجاربِ، يصعُبُ قياسُ هذه الذرّاتِ على حدة، لصغرِ حجمِها.

لكن الكيميائيينَ استطاعوا تحليلَ الذرّةِ من حيثُ الكَمّ، من خلالِ معرفتِهم بالخواصِّ الأساسيةِ لذرّةِ كلِّ عنصر. في هذا القسمِ سنتعرفُ إلى الخواصِّ الأساسيةِ للذرّة، ما يؤهلنا لعدِّ ذراتِ أيِّ عنصرٍ في عيِّنةٍ من خلالِ معرفةِ كتلتِه.

## العددُ الذّري

جميعُ الذرّاتِ تتألّفُ من الجُسَيماتِ الأساسيةِ نفسِها، ومع ذلك ليستِ الذرّاتُ كلُّها متشابهة. لذرّاتِ العناصرِ المختلفةِ أعدادٌ مختلفةٌ من البروتونات، بينما ذرّاتُ العنصرِ الواحدِ لها العددُ نفسُه من البروتونات. أما **العددُ الذريُّ** (Z) atomic number لعنصرٍ ما، فهو عددُ البروتوناتِ الموجودةِ في نواةِ كلِّ ذرّةٍ من هذا العنصر.

في الجدولِ الدوريِّ للعناصر، نجدُ فوقَ رمزِ كلِّ عنصرٍ إشارةً إلى عددِهِ الذرِّي، (**الشكل 3-8**) ونجدُ كلَّ العناصرِ مرتَّبةً في هذا الجدولِ تصاعديًّا تبعًا لأعدادِها الذرية. فالهيدروجين (H) هو أولُ العناصرِ في هذا الجدول، وعددُهُ الذريُّ 1، هذا يعني أنَّ كلَّ ذرةٍ من الهيدروجين لديها بروتون واحدٌ في نواتِها. يليه الهيليوم (He) وعددُهُ الذريُّ 2، ومعناه أنَّ نواةَ ذرةِ الهيليوم تحتوي على بروتونين. ويليهما الليثيوم Li الذي يحتوي في نواتِهِ على 3 بروتونات، وهكذا.

يفيدُنا هذا أنه يمكنُ تحديدُ هويةِ العنصرِ من خلالِ عددِهِ الذريّ. فمثلاً، إذا أردتَ أنْ تعرفَ ما العنصرُ ذو العددِ الذريِّ 47، فإنك تجدُهُ في الجدولِ الدوريِّ للعناصرِ تحتَ العددِ (47)، وهو يمثِّلُ الفضّة (Ag). كلُّ ذرة من ذرّاتِ الفضة تحتوي في نواتِها على 47 بروتونًا. وبما أنَّ ذرّاتِ الفضةِ متعادلةُ الشحنةِ الكهربائيةِ، لَزِمَ أن يحتويَ كلُّ منها على 47 إلكترونًا.

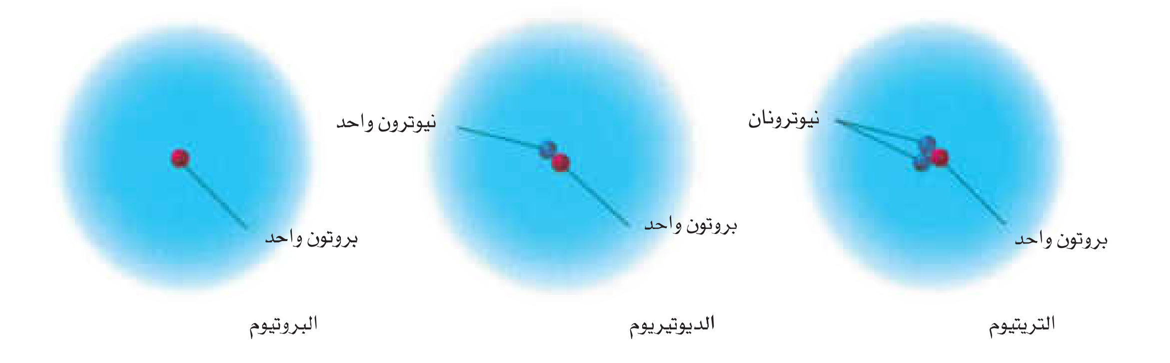
3
Li
Lithium
ليثيوم
6.941
[He]$2s^1$

**الشكل 3-8** إنَّ العددَ الذريَّ، حسبَ الجدولِ الدوري، يُظهرُ أنَّ نواةَ ذرّةِ الليثيوم تحتوي على ثلاثةِ بروتونات.

## النظائر

أبسطُ الذرّاتِ هي ذرّاتُ عنصرِ الهيدروجين. جميعُ ذرّاتِ الهيدروجين تحتوي على بروتون واحدٍ فقط. ومع ذلك، وكالكثيرِ من العناصرِ المتوفرةِ في الطبيعةِ، يمكنُ لذرَّاتِ الهيدروجين أن تحتويَ على عددٍ مختلفٍ من النيوترونات.

من ذرّاتِ الهيدروجين، يوجدُ ثلاثةُ أنواعٍ معروفة. النوعُ الأكثرُ شيوعًا يُدعى بروتيوم، وهو يمثلُ 99.985% من ذرّاتِ الهيدروجين الموجودةِ على الأرض. تتألفُ نواةُ ذرّةِ




**الشكل 3-9** نَوى النظائرِ المختلفة لعنصرِ الهيدروجين، حيثُ يظهرُ في كلٍّ منها بروتونٌ واحدٌ وعددٌ مختلفٌ من النيوتروناتِ ما عدا البروتيوم، فهو لا يحتوي على نيوترونات.

البروتيوم من بروتون واحد فقط ويتحركُ حولها إلكترون واحد. ويوجدُ نوعانِ آخرانِ معروفانِ من الهيدروجين: يُدعى أحدُهما ديوتيريوم، وهو يمثلُ 0.015% من ذراتِ الهيدروجينِ الموجودةِ على الأرض. ولكلِّ ذرةِ ديوتيريوم نواةٌ تحتوي على بروتون واحدٍ ونيوترون واحد. أما النوعُ الثالثُ من الهيدروجين، فيُعرفُ بالتريتيوم، وهو مشعٌّ، ويتواجدُ بكمياتٍ قليلةٍ في الطبيعةِ، لكن يمكنُ تحضيرُهُ اصطناعيًّا. تحتوي كلُّ ذرةِ تريتيوم على بروتون واحدٍ ونيوترونَيْن وإلكترون واحد. البروتيوم والديوتيريوم والتريتيوم تُسمّى نظائرَ الهيدروجين (**الشكل 3-9**).

**النظائرُ** isotopes هي ذرّاتٌ لعنصرٍ واحد تختلفُ في العددِ الكتليِّ، وتتساوى في العددِ الذريّ. فنظائرُ عنصرٍ معينٍ كلُّها لها عددُ البروتوناتِ والإلكترونات نفسُه، لكنها تختلفُ في عددِ النيوترونات. في نظائرِ الهيدروجينِ الثلاثةِ، تتعادلُ الشحنةُ الموجبةُ للبروتونِ الوحيد مع الشحنةِ السالبةِ للإلكترون. في المقابلِ تتألفُ معظمُ العناصرِ من مزيجٍ من النظائر. فللقصديرِ (Sn)، مثلاً، 10 نظائرُ مستقرة. هذا الرقمُ هو الأكبرُ بين كلِّ العناصرِ.

## العددُ الكتلي

يتطلَّبُ التعرفُ إلى نظيرٍ معينٍ معرفةَ اسمِ العنصر، أو عددِهِ الذريِّ وعددِهِ الكُتَلي. **والعددُ الكتليُّ** mass number هو العددُ الإجماليُّ للبروتوناتِ والنيوتروناتِ في نواةِ النظير. فالأعدادُ الكتليةُ لنظائرِ الهيدروجينِ الثلاثةِ، هي 1، 2، 3، كما يظهرُ في **الجدولِ 3-2**.

**الجدول 3-2 الأعدادُ الكتليةُ في نظائرِ الهيدروجين**

| | العددُ الذريّ (عدد البروتونات) | عددُ النيوترونات | العددُ الكتلي |
|---|---|---|---|
| البروتيوم | 1 | 0 | 1 + 0 = 1 |
| الديوتيريوم | 1 | 1 | 1 + 1 = 2 |
| التريتيوم | 1 | 2 | 1 + 2 = 3 |

**الجدول 3-3 نظائرُ الهيدروجين والهيليوم**

| النظير | الرمزُ النووي | عددُ البروتونات | عددُ الإلكترونات | عددُ النيوترونات |
|---|---|---|---|---|
| هيدروجين -1 (بروتيوم) | $^{1}_{1}H$ | 1 | 1 | 0 |
| هيدروجين -2(ديوتريوم) | $^{2}_{1}H$ | 1 | 1 | 1 |
| هيدروجين -3 (تريتيوم) | $^{3}_{1}H$ | 1 | 1 | 2 |
| هيليوم -3 | $^{3}_{2}He$ | 2 | 2 | 1 |
| هيليوم -4 | $^{4}_{2}He$ | 2 | 2 | 2 |

## تسميةُ النظائر

لنظائرِ الهيدروجين أسماءٌ مميَّزة. وتُسمّى النظائرُ عادةً من خلالِ تحديدِ عددِها الكتلي. وتوجدُ طريقتانِ لتحديدِ النظير.

تتمثلُ الطريقةُ الأولى في كتابةِ اسمِ العنصرِ وعن يمينِهِ معترضةٌ (-)، ثم يكتبُ العددُ الكتليُّ بطريقة «الترميز الهايفي». فالتريتيوم، مثلاً، يُكتب: هيدروجين -3. ونظيرُ اليورانيوم، الذي يُستعملُ كوقودٍ للمحطاتِ النووية، وعددُهُ الكتليُّ 235، يحدَّدُ على الشكلِ التالي: يورانيوم -235.

أما الطريقةُ الثانيةُ، فتوضحُ تركيبَ نواةِ النظيرِ على أساسِ الرمزِ النوويّ. فاليورانيوم -235، مثلاً، يُكتب $^{235}_{92}U$ حيث يشيرُ العددُ العلويُّ إلى العددِ الكتليّ، ويشيرُ العددُ السفليُّ إلى العددِ الذريّ. وباستخدامِ هذا الترميز، يمكنُنا أن نحدِّدَ عددَ النيوترونات بطرحِ العددِ الذريِّ من العددِ الكتليّ.

عددُ النيوترونات = العدد الكتلي − العدد الذرّي
= 235 − 92
= 143 نيوترونًا

بناءً على ذلك، نواةُ اليورانيوم -235 تحتوي على 92 بروتونًا و143 نيوترونًا.

يحتوي **الجدولُ 3-3** على أسماءِ ورموزِ وبنيةِ نظائرِ الهيدروجينِ والهيليوم. ويوضحُ أنَّ **النُّوَيْدَةَ** nuclide مصطلحٌ عامٌّ لنظيرِ أيِّ عنصر. ويمكننا القولُ إنَّ **الجدولَ 3-3** يدرجُ تركيبَ خمسِ نويداتٍ مختلفة.

## مسألةٌ نموذجية 1-3

**ما هي أعدادُ البروتوناتِ والإلكتروناتِ والنيوترونات في ذرةِ الكلور -37؟**

### الحلّ

**1 أحلِّل**

**المعطى:** الاسمُ والعددُ الكتليُّ للكلور -37.

**المجهول:** عددُ البروتوناتِ والإلكتروناتِ والنيوترونات.

**2 أخطِّط**

عددُ البروتونات = عدد الإلكترونات = العدد الذريّ

عددُ البروتونات + عدد النيوترونات = العدد الكتليّ

**3 أحسب**

العددُ الكتليُّ للكلور -37 هو 37، والعددُ الذريُّ للكلور هو 17 (راجعِ الجدولَ الدوريّ). ولحسابِ عددِ النيوتروناتِ يُطرحُ العددُ الذريُّ من العددِ الكتليّ.

العدد الكتليّ للكلور -37 – العددُ الذريُّ للكلور -37 = عدد النيوترونات للكلور -37.

37 – 17 = 20 نيوترونًا.

لذرةِ الكلور -37 إذن 17 بروتونًا و17 إلكترونًا و20 نيوترونًا.

**4 أقيِّم**

إنَّ عددَ البروتوناتِ في الذرةِ المتعادلةِ الشحنةِ يساوي عددَ الإلكترونات، بينما يساوي العددُ الكتليُّ مجموعَ عددِ النيوترونات وعددِ البروتونات.

### تمارينُ تطبيقية

**1.** ما هي أعدادُ البروتوناتِ والإلكتروناتِ والنيوتروناتِ في البروم -80؟

**الجواب:** 35 بروتونًا و 35 إلكترونًا و45 نيوترونًا.

**2.** اكتب الرمزَ النوويَّ للكربون -13.

**الجواب:** $^{13}_{6}C$

**3.** اكتب الترميز الهايفيَّ لعنصرٍ تحتوي ذراتُهُ على 15 إلكترونًا و15 نيوترونًا.

**الجواب:** فوسفور -30.

**الجدول 4-3 الكتلةُ الذرّيةُ لبعضِ النظائرِ ونسبةُ وفرتِها في الطبيعة**

| النظير | العددُ الكتليّ | النسبةُ المئويةُ لوفرتهِ في الطبيعةِ | الكتلةُ الذرية (و ك ذ amu) | معدلُ الكتلةِ الذريةِ للعنصر (و ك ذ amu) |
|---|---|---|---|---|
| هيدروجين -1 | 1 | 99.985 | 1.007 825 | 1.007 94 |
| هيدروجين -2 | 2 | 0.015 | 2.014 102 | |
| كربون -12 | 12 | 98.90 | 12 (اعتمد كأساس) | 12.0111 |
| كربون -13 | 13 | 1.10 | 13.003 355 | |
| كربون -14 | 14 | مقدار ضئيل | 14.003 242 | |
| أكسجين -16 | 16 | 99.762 | 15.994 915 | 15.9994 |
| أكسجين -17 | 17 | 0.038 | 16.999 131 | |
| أكسجين -18 | 18 | 0.200 | 17.999 160 | |
| نحاس -63 | 63 | 69.17 | 62.929 599 | 63.546 |
| نحاس -65 | 65 | 30.83 | 64.927 793 | |
| سيزيوم -133 | 133 | 100 | 132.905 429 | 132.905 |
| يورانيوم -234 | 234 | 0.005 | 234.040 947 | 238.029 |
| يورانيوم -235 | 235 | 0.720 | 235.043 924 | |
| يورانيوم -238 | 238 | 99.275 | 238.050 784 | |

## الكتلُ الذرّيةُ النسبية

كتلُ الذرّاتِ المقيسةُ بالجراماتِ صغيرةٌ جدًّا. كتلةُ ذرةِ الأكسجين -16 تساوي $2.657 \times 10^{-23}$g . لذلك من الأنسبِ، في معظمِ الحساباتِ الكيميائيةِ، استخدامُ الكتلةِ الذريةِ النسبية. فكما قرأتَ في الفصلِ الثاني، يستخدمُ العلماءُ معاييرَ قياسيةً ثابتةً هي نفسُها في كلِّ مكان. ولوضعِ مقياسٍ نسبيٍّ للكتلِ الذريةِ تمَّ اختيارُ ذرةٍ واحدةٍ، بطريقةٍ عشوائية، فأصبحتْ أساسًا معياريًّا، وحُدِّدت قيمةُ كتلتِها النسبية. ومن ثمَّ تمَّ تحديدُ كتلِ جميعِ الذرّاتِ الأخرى نسبةً إلى هذا المعيارِ المحدد. اعتمدَ العلماءُ نويدةَ الكربون -12 كأساسٍ معياري. حُدِّدت كتلةُ الكربون -12عشوائيًّا باثنتي عشرةَ وحدةَ كتلةٍ ذريةٍ تمامًا، أي 12 amu. إنَّ **وحدةَ الكتلةِ الذريةِ (و ك ذ)** atomic mass unit (amu) تساوي تمامًا 1/12 من كتلة ذرةِ الكربون -12. تحدّدُ الكتلةُ الذريةُ النسبيةُ لأيِّ نويدةٍ بمقارنتِها بكتلةِ ذرةِ الكربون -12. فالكتلةُ الذريةُ للهيدروجين -1، مثلاً، هي 1/12 من الكتلةِ الذرّيةِ للكربون -12، أي حوالي 1 amu. أما نواةُ الأكسجينِ -16 فلها كتلةٌ تساوي 16/12 أو 4/3 من كتلةِ ذرةِ الكربون -12. وقد أظهرتِ القياساتُ الدقيقةُ أنَّ قيمةَ الكتلةِ الذريةِ للأكسجين -16 هي 15.994 915 amu لكلٍّ من ذراتِ الأكسجين -16، وأنَّ كتلةَ ذرةِ المغنسيوم -24 تساوي أقلَّ بقليلٍ من ضعفِ كتلةِ الكربون -12، فهي تساوي 23.985 042 amu.

وتجدُ في **الجدولِ 4-3** عدّةَ أمثلةٍ على الكتلةِ الذرِّيةِ للنظائرِ الطبيعيةِ لبعضِ العناصر. توجدُ هذه النظائرُ طبيعيًّا واصطناعيًّا (في المختبر). ومع أنَّ النظائرَ لها كتلٌ مختلفةٌ، فهي لا تختلفُ من حيثُ سلوكُها الكيميائيّ.

يمكنُ التعبيرُ عن كتلِ الجسيماتِ دونِ الذريةِ بمقياسِ الكتلِ الذريةِ، كما في **الجدول 3-1**، حيثُ كتلةُ الإلكترون 0.000 5486 amu، وكتلةُ البروتون 1.007 276 amu، وكتلةُ النيوترون 1.008 665 amu. لاحظْ أنَّ كتلتَي البروتون والنيوترون تقاربان 1 amu.

لقد تعلَّمتَ أنَّ العددَ الكتليَّ هو مجموعُ عددِ البروتوناتِ والنيوتروناتِ في نواةِ الذرّة. بإمكانِك الآن أنْ ترى أنَّ العددَ الكتليَّ والكتلةَ الذرّيةَ النسبيةَ لنويدةٍ ما متقاربانِ، لكنهما غيرُ متساويينِ تمامًا، لأنَّ قيمتَي البروتونِ والنيوترونِ تنحرفانِ قليلاً عن 1 amu، كما أنَّ الكتلَ الذرّيةَ تحتوي على قيمِ كتلِ الإلكترونات. وسترى لاحقًا أنَّ مقدارًا صغيرًا من الكتلةِ يتحوَّلُ إلى طاقةٍ في عمليةاستحداثِ نواةٍ من بروتوناتٍ ونيوترونات.

## معدَّلُ الكتلِ الذرِّيةِ للعناصر

توجدُ معظمُ العناصرِ في الطبيعةِ على شكلِ مزيجٍ من النظائر، كما يشيرُ **الجدولُ 3-4**. وتجدرُ الإشارةُ إلى أنَّ نسبةَ وجودِ كلِّ نظيرٍ من نظائرِ العناصرِ الموجودةِ على الأرضِ تكادُ أنْ تكونَ ثابتةً، بغضِّ النظرِ عن مكانِ وجودِه. ويجبُ أنْ تُراعى نسبةُ وجودِ النظائرِ في الطبيعةِ عند احتسابِ معدلِ الكتلةِ الذريةِ للعنصر. يُمثِّلُ **معدَّلُ الكتلةِ الذريةِ** average atomic mass معدلَ الكتلِ الذريةِ لنظائرِ العنصرِ الموجودةِ في الطبيعة.

ونفترضُ، كمثالٍ بسيطٍ على كيفيةِ حسابِ هذا المعدَّلِ، وجودَ علبةٍ تحتوي على كُراتٍ زجاجيةٍ بحجمينِ مختلفين. إذا كانت كتلةُ الكرةِ الواحدةِ في 25 % من مجموعِ الكراتِ تساوي 2.00 g، وكتلةُ الكرةِ الواحدةِ في 75 % من مجموعِ باقي الكراتِ تساوي 3.00 g، كيف تحسبُ المعدّل؟ يمكن أنْ تعدَّ الكراتِ وتحسبَ الكتلةَ الإجماليةَ للخليطِ، وتَقسمَ ذلك على عددِ الكراتِ الإجماليّ. فإذا كانَ لديكَ 100 كرةٍ، يكونُ الحسابُ على الشكلِ التالي:

2.00 g x كرة 25 = 50 g

3.00 g x كرة 75 = 225 g

مجموعُ هذه الكتلِ يعطي الكتلةَ الإجمالية:

$$225g + 50\ g = 275\ g$$

وبقسمةِ الكتلةِ الإجماليةِ على 100 ينتجُ متوسِّطُ كتلةِ الكرةِ = 2.75 g

توجدُ طريقةٌ أبسط: وهي ضربُ كتلةِ كرةٍ واحدةٍ بالكسرِ العشريِّ الذي يمثلُ نسبتَها في الخليطِ، ثم جمع النتائج:

$$25\% = 0.25 \qquad 75\% = 0.75$$

$$(2.00g \times 0.25) + (3.00g \times 0.75) = 2.75g$$

### حسابُ معدَّلِ الكتلةِ الذرّية

يرجعُ معدَّلُ الكتلةِ الذرّيةِ للعنصرِ إلى كتلِ نظائرِه ووفرتِها النسبية. فمثلاً، يتكونُ النحاسُ المتوفرُ في الطبيعةِ من 69.17 % من النحاسِ-63 ذي الكتلةِ الذرّيةِ

62.929 amu، و% 30.83 من النحاسِ -65 ذي الكتلةِ الذرّيةِ 64.927 amu. بالرجوعِ إلى ذلك، يمكنُ أن تحسبَ معدَّلَ الكتلةِ الذريةِ للنحاسِ بضربِ الكتلةِ الذرّيةِ لكلِّ نظيرٍ في نسبةِ وفرتِه (الممثّلة بكسرٍ عشري)، ومن ثمَّ تجمعُ النتائج.

$$0.6917 \times 62.929 + 0.3083 \times 64.927 = 63.55 \text{ amu}$$

فيكونُ معدلُ الكتلةِ الذرّيةِ للنحاسِ المتوفرِ في الطبيعةِ 63.55 amu.

إنَّ **الجدولَ 3-4** (الصفحة 78) يشملُ معدلَ الكتلةِ الذرّيةِ لكلٍّ من العناصرِ الواردةِ فيه. ويتضحُ في الجدولِ أنَّ معظمَ أرقامِ الكتلِ الذرّيةِ مكتوبةٌ على أساسِ أربعةِ أرقامٍ معنويةٍ مهمة. غير أنَّ أرقامَ الكتلِ الذرّيةِ للعناصرِ، في هذا الكتابِ، تقرَّبُ عادةً إلى رقمينِ بعد الفاصلةِ، لتُستخدمَ بعدَ ذلك في الحساباتِ.

## مراجعةُ القسم 3-3

**1.** عرِّفْ ما يلي:
أ. العددَ الذريّ
ب. العددَ الكتليّ
ج. الكتلةَ الذرية النسبية
د. معدّلَ الكتلةِ الذريةِ
هـ. النظير

**2.** حدِّدْ عدد البروتوناتِ، والإلكتروناتِ، والنيوتروناتِ لكلٍّ من النظائرِ التالية:
أ. صوديوم -23
ب. كالسيوم -40
ج. $^{64}_{29}Cu$
د. $^{108}_{47}Ag$

**3.** اكتبِ الرمزَ النوويَّ والترميزَ الهايفيَّ للنظيرِ الذي له:
أ. عددٌ كتليٌّ 28 وعددٌ ذريٌّ 14
ب. 26 بروتونًا و30 نيوترونًا
ج. 56 إلكترونًا و82 نيوترونًا

**4.** ما قيمةُ الكتلةِ الذريةِ النسبيةِ لعنصرِ البوتاسيوم؟ أعطِ الجوابَ حتى رقمينِ عشريين.

# مراجعةُ الفصل 3

## ملخّصُ الفصل

**1-3**

- تعودُ الفكرةُ العامةُ حولَ الذرةِ إلى قدامى الإغريق، تطوَّرتِ الفكرةُ في القرنِ التاسعَ عشر، حين اقترحَ جون دالتون نظريةً علميةً للذرةِ ما تزالُ إلى اليوم تُستعملُ لشرحِ خواصِّ العديدِ من الموادِّ الكيميائية.
- تتحدُ العناصرُ بنسبِ كتلٍ ثابتةٍ لتكوِّنَ المُركَّبات.
- إنَّ المادّةَ والكتلةَ لا تُستحدثانِ من لا شيء ولا تفنيانِ من الوجودِ في التفاعلاتِ الكيميائية.
- إنَّ نسبَ كتلِ العناصرِ في مُركَّبٍ معيَّنٍ تبقى دائمًا هي نفسَها، بغضِّ النظرِ عن كمّيةِ المُركَّبِ أو طريقةِ تكوينِه.
- إذا تألفَ مُركَّبانِ مختلفانِ أو أكثرُ من عنصرينِ متماثلين، فنسبةُ كتلةِ الواحدِ إلى كتلةِ الآخرِ يعبَّرُ عنها بنسبِ أرقامٍ صحيحةٍ صغيرة.

### المفردات

| | |
|---|---|
| قانونُ حفظِ الكتلة | (65) law of conservation of mass |
| قانونُ النسبِ الثابتة | (66) law of definite proportions |
| قانونُ النسبِ المضاعفة | (66) law of multiple proportions |

**2-3**

- وفَّرَ أنبوبُ الأشعةِ المهبطيةِ (الكاثودية) دليلاً على وجودِ الإلكتروناتِ في الذرةِ، وعلى أنها جُسَيماتٌ دون ذريةٍ ذاتُ شحنةٍ سالبةٍ، وهي نسبيًّا ذاتُ كتلٍ صغيرةٍ جدًّا.
- قدَّمَ رذرفوردُ البرهانَ على وجودِ النواةِ في الذرةِ، وعلى أنَّ النواةَ تحملُ شحنةً موجبةً، وأنها ذاتُ كثافةٍ عاليةٍ جدًّا، وتكوِّنُ قلبَ الذرة. كانَ ذلكَ من خلالِ قذفِ صفيحةٍ رقيقةٍ من المعدنِ بجسيماتٍ ذاتِ شحنةٍ موجبة.
- تتألفُ نواةُ الذرةِ من بروتوناتٍ يحملُ كلٌّ منها شحنةً موجبةً تساوي (+1) ومن نيوتروناتٍ متعادلةٍ كهربائيًا (في جميعِ الحالاتِ عدا حالةٍ واحدة).
- تختلفُ نظائرُ العنصرِ باختلافِ عددِ النيوتروناتِ في نواها.
- نصفُ قطرِ النواةِ يبلغُ حوالي 0.001 pm (pm = picometer, 1 pm = $10^{-12}$m) أما نصفُ قطرِ الذرّاتِ فيراوحُ بين 40 pm و 270 pm.

### المفردات

| | |
|---|---|
| الذرّة | (69) atom |
| القوى النووية | (73) nuclear forces |

**3-3**

- العددُ الذرّيُّ لعنصرٍ معيَّنٍ يساوي العددَ الإجماليَّ للبروتوناتِ الموجودةِ في نواةِ ذرّةِ هذا العنصر.
- العددُ الكتليُّ لأيِّ ذرّةٍ من عنصرٍ معينٍ يساوي مجموعَ البروتوناتِ والنيوتروناتِ في نواةِ تلكَ الذرة.
- وحدةُ الكتلةِ الذريةِ (amu) النسبيةِ حُددت بذرةِ الكربون 12- التي تبلغُ 12 وحدةً تمامًا. وكلُّ وحدةِ كتلةٍ ذرّيةٍ تساوي $1.660\ 540 \times 10^{-24}$ kg.
- يُحسَبُ معدَّلُ الكتلةِ الذريةِ لعنصرٍ معينٍ بحسابِ كتلِ نظائرِهِ ونسبةِ وفرتِها في الطبيعة.

### المفردات

| | |
|---|---|
| العددُ الذريّ | (74) atomic number |
| العددُ الكتليّ | (75) mass number |
| معدَّلُ الكتلةِ الذرّية | (79) average atomic mass |
| النظير | (75) isotope |
| النويدة | (76) nuclide |
| وحدةُ الكتلةِ الذرّية (و.ك.ذ) | (78) atomic mass unit (a.m.u) |

# مراجعةُ الفصل 3

## مراجعةُ المفاهيم

1. اشرحْ كلاً من القوانينِ التاليةِ من خلالِ نظريةِ دالتونَ الذرية:
   أ. قانونَ حفظِ الكتلة.
   ب. قانونَ النِّسبِ الثابتة.
   ج. قانونَ النِّسبِ المضاعَفة.
2. إذا افترضنا، طبقًا لقانونِ الكتلةِ الثابتة، أنَّ للعنصرِ A ‏2 amu، وللعنصرِ B ‏3 amu، فما الكتلةُ المتوقَّعةُ للمركَّبِ A B؟ والمركَّبِ $A_2B_3$؟
3. أ. ما تعريفُ الذرة؟
   ب. ما المنطقتانِ اللتانِ تكوِّنانِ الذرة؟
4. سمِّ أربعَ خواصَّ على الأقلِّ للإلكترونِ تمَّ تحديدُها بناءً على اختباراتِ طومسونَ وميليكان.
5. لخِّصْ نموذجَ رذرفوردَ للذرة، واشرحْ كيف طوَّرَ رذرفورد هذا النموذجَ باعتمادِهِ على نتائجِ التجربةِ التي أجراها على رقاقةِ الذهب.
6. ما العددُ الذي يُعرِّفُ هويةَ العنصر؟
7. أ. ما النظائر؟
   ب. بمَ تتشابهُ نظائرُ أحدِ العناصر؟
   ج. بمَ تختلف؟
8. انسخْ وأكملِ الجدولَ التاليَ المتعلِّقَ بالنظائرِ الثلاثةِ للسيليكون Si (ملاحظة: انظرِ المسألةَ النموذجيةَ 3-1).

| النظير | عددُ البروتونات | عددُ الإلكترونات | عددُ النيوترونات |
|---|---|---|---|
| Si-28 | | | |
| Si-29 | | | |
| Si-30 | | | |

9. أ. ما العددُ الذريُّ لعنصرٍ معين؟
   ب. ما العددُ الكتليُّ للنظير؟
   ج. عرِّفِ العددَ الذريَّ والعددَ الكتليَّ، بحسبِ الرمزِ النوويِّ للديتريوم $^{2}_{1}H$.
10. ما النويدة؟
11. استعِنْ بالجدولِ الدوريِّ وبالمعلوماتِ التاليةِ لكتابةِ الترميزِ الهايفيِّ لكلٍّ من النظائرِ التالي وصفُها:
   أ. العددُ الذري = 2 العددُ الكتلي = 4
   ب. العددُ الذري = 8 العددُ الكتلي = 16
   ج. العددُ الذري = 19 العددُ الكتلي = 39
12. أ. ما النويدةُ التي استُعملتَ كمعيارٍ في القياسِ النسبيِّ للكتلةِ الذرية؟
   ب. ما الكتلةُ الذريةُ التي نسبتَ إليها؟
13. ما الكتلةُ الذريةُ لذرةٍ تساوي كتلتُها تقريبًا:
   أ. 1/3 ذرة كربون -12.
   ب. 4.5 ذرة كربون -12.

## مسائل

**الكتلةُ الذريةُ النسبية**

14. يوجدُ في الطبيعةِ ثلاثةُ نظائرَ للأرجون (Ar) هي:
$^{36}_{18}Ar, ^{38}_{18}Ar, ^{40}_{18}Ar$ ، احسبْ معدَّلَ الكتلةِ الذريةِ حتى رقمينِ عشريين، مستعينًا بهذهِ المعلوماتِ الخاصةِ بكتلةِ كلِّ نظيرٍ ونسبةِ وجودِه: الأرجون-36 (35.97 amu; 0.337%)، الأرجون-38 (37.96 amu ; 0.063%)، والأرجون-40 (39.96 amu ; 99.600%)
15. يحتوي البورون المتوفِّرُ في الطبيعةِ 80.20% من البورون -11 (الكتلةُ الذرية = 11.01 amu)، و19.80% من نظيرٍ آخرَ من البورون. كم يجبُ أنْ تكونَ الكتلةُ الذريةُ للنظيرِ الثاني لكي نحسبَ معدَّلَ الكتلةِ الذريةِ 10.81 amu؟ (اكتبِ الجوابَ حتى رقمينِ عشريين).

## مراجعةٌ متنوعة

16. أكملِ الجدولَ التاليَ مستعينًا بالثوابتِ الفيزيائيةِ المتعلِّقةِ بخواصِّ الجُسَيماتِ دونِ الذرية.

| الجُسَيم | الرمز | العددُ الكتلي | الكتلةُ الفعلية | الشحنةُ النسبية |
|---|---|---|---|---|
| الإلكترون | | | | |
| البروتون | | | | |
| النيوترون | | | | |

17. أ. كيفَ يرتبطُ مقياسُ الكتلةِ الذريةِ (و ك ذ) بكتلةِ ذرةِ الكربون -12؟
   ب. ما الكتلةُ الذريةُ النسبيةُ لذرةٍ معيَّنة؟
18. أ. ما نواةُ الذرة؟
   ب. لمن يُنسَبُ اكتشافُ نواةِ الذرة؟
   ج. حدِّدْ هويةَ نوعَيِ الجُسَيماتِ الموجودينِ في النواة.

**19.** اذكرْ قانونَ النسبِ المضاعفة، وأعطِ مثالاً على مُركَّبين يوضحانِ القانون.

**20.** ما الكتلةُ الذريةُ التقريبيةُ لذرةٍ كتلتُها:

أ. 12 ضعفًا من كتلةِ الكربون -12.

ب. نصفُ كتلةِ الكربون -12.

**21.** ما الإلكترون؟

## تفكيرٌ ناقد

**22.** تنظيمُ أفكار: ما الفرقُ بين قانونِ النِّسَبِ الثابتةِ وقانونِ النسبِ المضاعفة؟ استعملْ مُركَّبينِ كيميائيين كمَثَل.

**23.** بناءُ نموذج: بناءُ الذرة كما وُصِفَ سابقًا، كانَ قد حُدِّدَ عبر ملاحظاتٍ تمَّ التوصلُ إليها من خلال أبحاثٍ مختبريةٍ مُضنية. افترضْ أنَّ سلسلةَ تجاربَ أظهرت أنَّ مرورَ تيارٍ كهربائيٍّ في أنبوبٍ يحتوي على غازٍ تحت ضغطٍ منخفض، أدى إلى توهجِ سطحِ أنبوبِ الأشعةِ الكاثوديةِ المواجهِ للآنود، وأنَّ مروحةً صغيرةً موضوعةً داخلَ الأنبوبِ تتجهُ حركتُها من الآنود نحو الكاثود.

أ. في أيِّ اتجاهٍ تمرُّ الجُسَيمات عبرَ الغاز؟

ب. ما نوعُ شحنةِ الجُسَيمات؟

**24.** استنتاجُ العلاقات: كم من الكتلةِ يتحوَّلُ إلى طاقةٍ خلالَ عمليةِ تكوّن نواةِ اليورانيوم $^{235}_{92}U$ بنويدةٍ من 92 بروتونًا و143 نيوترونًا و92 إلكترونًا؟

## بحثٌ وكتابة

**25.** حضِّرْ تقريرًا عن سلسلةِ التجاربِ التي أجراها السيرَ جيمس شادويك وأدَّت إلى اكتشافِ النيوترون.

**26.** تتبَّعْ تطوّرَ المجهرِ الإلكترونيِّ، وعدِّدْ بعضَ استعمالاته.

**27.** أنتجتْ دراسةُ التركيبةِ الذريةِ والنواةِ مجالاً طبيًّا جديدًا يُدعى الطبَّ النووي. صفْ كيف تُستعملُ العناصرُ الاستشفائيةُ المشعَّةُ لكشفِ الأمراضِ ومعالجتِها.

## التقويمُ البديل

**28.** راقبْ أنبوبَ الأشعةِ المهبطيةِ (الكاثودية) وهو يعمل، ودوِّن ملاحظاتك.

**29.** تقويمُ الأداء: باستعمالِ طينٍ ملوَّنٍ، اصنعْ نماذجًا لنواةِ كلٍّ من نظائرِ الكربونِ الثلاثة: الكربون -12، الكربون -13، الكربون -14. حدِّدْ عددَ الإلكتروناتِ التي ستحيطُ بكلِّ نواة.

الفصل 4

# ترتيبُ الإلكتروناتِ في الذرّات



## انبعاثُ الضوءِ متعلِّقٌ بشكلٍ أساسيٍّ بسلوكِ الإلكترونات

القســـم 1-4

# التطوُّر في نموذجٍ جديدٍ للذّرة

## النواتجُ التعليمية

- يوضحُ العلاقةَ الرياضيةَ بين سرعةِ الأشعّةِ الكهرومغناطيسيةِ وطولِ موجتِها وبين التردد.
- يناقشُ الطبيعةَ الثنائيةَ للضوءِ الموجيةِ والجسيمية.
- يوضحُ أهميةَ التأثيرِ الكهروضوئيِّ وطيفِ الانبعاثِ الخطيِّ للهيدروجين في تطويرِ النموذجِ الذريّ.
- يصفُ نموذجَ بور لذرةِ الهيدروجين.

يُعَدُّ نموذجُ رذرفورد للذرّةِ تحسينًا للنماذجِ السابقة، لكنّه ليس كاملاً، لأنه لم يستطعْ أن يُبيِّنَ موقعَ إلكتروناتِ الذرّةِ ذاتِ الشحناتِ السالبةِ في المنطقةِ التي تحيطُ بنواةِ الذرّةِ المشحونةِ بشحنةٍ موجبة. في حينِهِ كانَ معروفًا أنّ الجسيماتِ ذاتَ الشحناتِ المختلفةِ تتجاذب، فما الذي يمنعُ الإلكتروناتِ السالبةَ من الانجذابِ إلى نواةِ الذرّةِ الموجبة؟

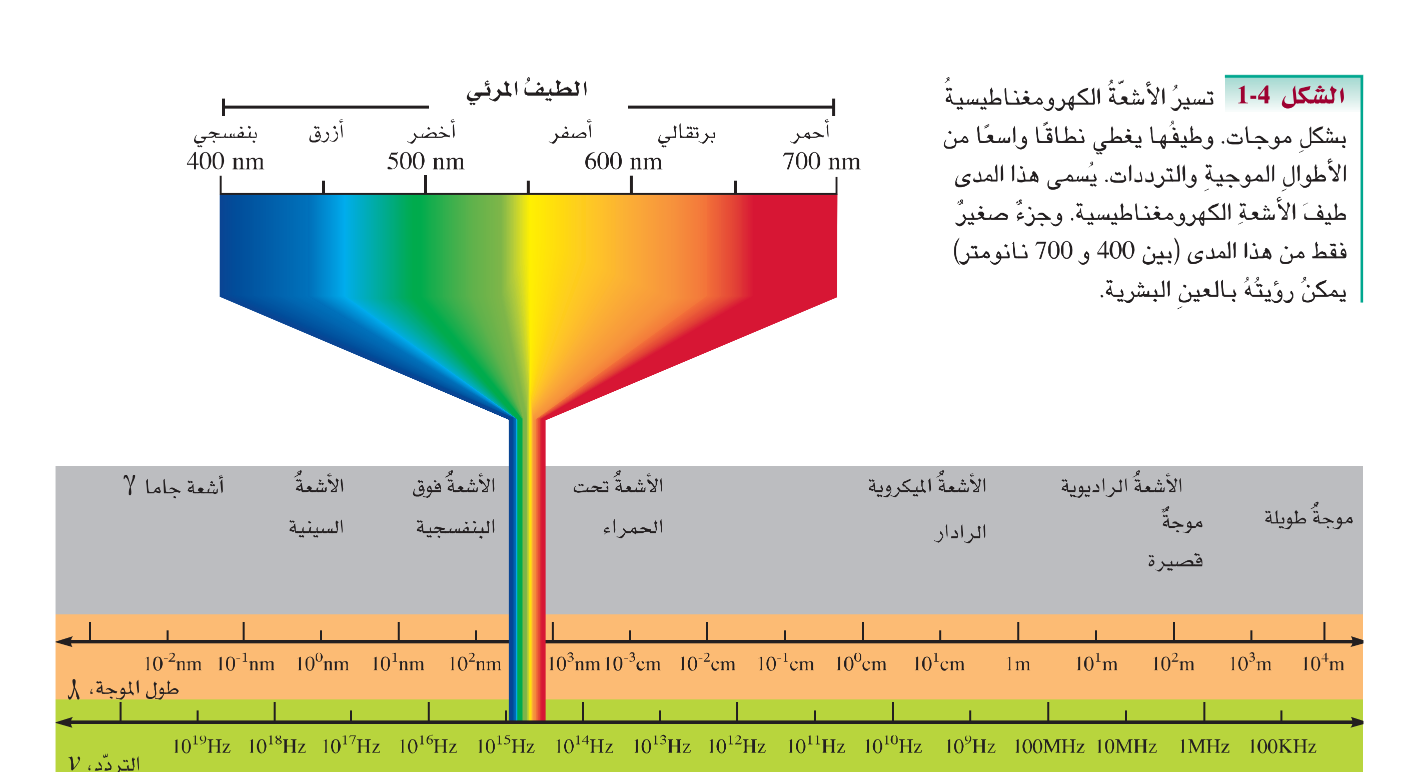
في بدايةِ القرنِ العشرين، تطوَّرَ نموذجٌ جديدٌ للذرة، نتيجةً للدراساتِ التي تتعلَّقُ بامتصاصِ المادّةِ للضوءِ وانبعاثِهِ منها. أظهرتْ هذه الدراساتُ وجودَ علاقةٍ وطيدةٍ بين الضوءِ وإلكتروناتِ الذرّة، ممّا أدّى إلى رؤيةٍ جديدةٍ لطبيعةِ الطاقةِ والمادّةِ وتركيبِ الذرّة.

## خــواصُّ الضـــوء

اعتقدَ العلماءُ قبل سنةِ 1900 أن للضوءِ خاصّةً مَوْجيّةً فقط. إلا أن هذا الاعتقادَ تبدَّلَ عندما اكْتُشِفَ لاحقًا أن للضوءِ خواصَّ أخرى مشابهةً لخواصِّ الجسيمات، دون أن يلغيَ ذلك الكثيرَ من خواصِّ الضوءِ التي يمكنُ وصفُها بأنها ذاتُ طبيعةٍ أو خواصَّ موجيّة. ولدى مراجعتِك لهذه الخواصِّ الموجيّةِ يتسنى لك فهمُ النظريةِ الأساسيةِ للضوءِ كما قُدِّمتْ في بدايةِ القرنِ العشرين.

### الضـوءُ كـموجات

الضوءُ المرئيُّ هو نوعٌ من **الأشعّةِ الكهرومغناطيسية** electromagnatic radiation، وهو نوعٌ من الطاقةِ يُظهرُ خواصَّ موجيّةً عندما يسيرُ في الفراغ. وهناكَ أنواعٌ أخرى من الأشعّةِ الكهرومغناطيسية، منها الأشعّةُ السينيةُ وفوق البنفسجية وتحت الحمراء، والميكروية، والراديوية. تشكِّلُ أنواعُ الأشعةِ الكهرومغناطيسيةِ **الطيفَ الكهرومغناطيسيَّ** electromagnatic spectrum الذي يظهرُ في **الشكل 1-4**. جميعُ هذه الأشعةِ تتحركُ في الفراغِ بسرعةٍ ثابتةٍ تساوي $3.0 \times 10^{8}$ m/s ورمزُها (c)، وبسرعةٍ أقلَّ منها في المادّة. وبما أن الهواءَ يُعتبَرُ أقربَ إلى الفراغ، تمَّ اعتمادُ القيمةِ التقريبية $3.0 \times 10^{8}$ m/s كسرعةٍ للضوءِ في الهواء. ومن خواصِّ حركةِ الموجةِ طبيعتُها الترددّيةُ التي يمكنُ توصيفُها تبعًا لطولِ الموجةِ ونسبةِ ترددِها. ويُعرَّفُ **طولُ الموجة** length wave ($\lambda$) بأنه المسافةُ بين قمتَيْ موجتين متتاليتين، أو بين قاعَيْ موجتين متتاليتين. ووحدةُ طولِ الموجة، بحسبِ هيئتِها، هي المترُ أو السنتيمترُ أو النانومتر nanometer (nm) ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)، كما يظهرُ في **الشكل 2-4**. ويعرَّفُ **ترددُ الموجة** frequency ($\nu$) بأنه عددُ الموجاتِ التي تعبرُ نقطةً معيَّنةً خلالَ وقتٍ محدَّد، هو في العادةِ ثانيةٌ واحدة. يُعَبَّرُ عن ترددِ الموجةِ بـ موجات/ثانية، ويُعبَّرُ عن مرورِ موجةٍ واحدةٍ خلالَ الثانيةِ بالهرتز Hz، نسبةً إلى هينريش هرتز الذي كان رائدًا في مجالِ دراساتِ الأشعةِ الكهرومغناطيسية. يوضحُ **الشكلُ 2-4** خواصَّ الطولِ والترددِ

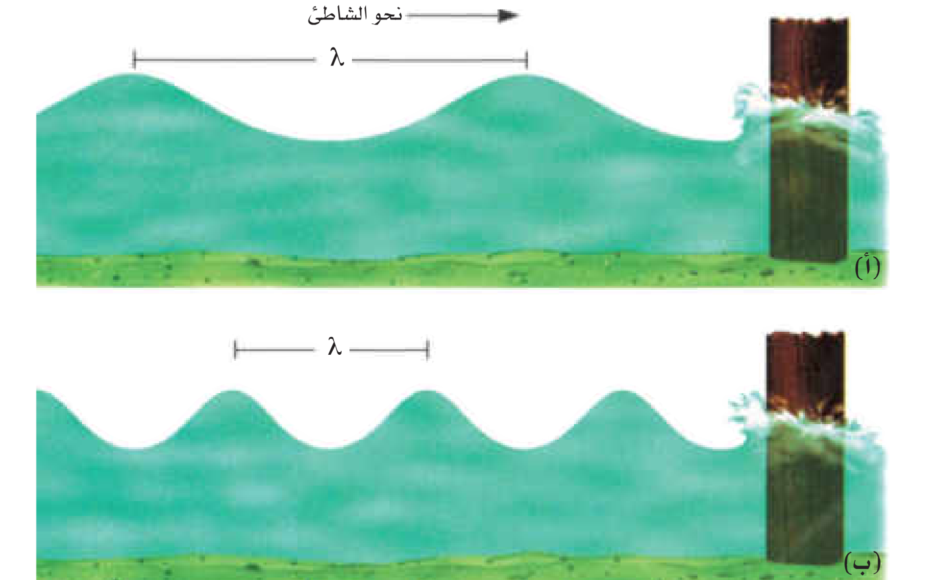



**الشكل 1-4** تسيرُ الأشعّةُ الكهرومغناطيسيةُ بشكلِ موجات. وطيفُها يغطي نطاقًا واسعًا من الأطوالِ الموجيةِ والترددات. يُسمى هذا المدى طيفَ الأشعةِ الكهرومغناطيسية. وجزءٌ صغيرٌ فقط من هذا المدى (بين 400 و 700 نانومتر) يمكنُ رؤيتُهُ بالعينِ البشرية.

لأنواعٍ شائعةٍ من الموجاتِ، لا سيما الموجاتُ المتكوِّنةُ نتيجةً لحركةِ سطحِ الماء. يصبحُ للموجةِ، في **الشكل 2-4**(أ)، طولٌ موجيٌّ كبير، وترددٌ قليل، مقارنةً بالموجةِ في **الشكل 2-4** (ب). يظهرُ ارتباطُ طولِ الموجة (λ) بترددِها (ν) من خلالِ المعادلةِ الرياضيةِ التالية:

$$c = (\lambda\ \nu)$$

c تمثِّلُ سرعةَ الضوء، λ تمثِّلُ طولَ الموجة، و ν تمثِّلُ ترددَ الموجة. بما أن السرعةَ (c) هي ذاتُها لكلِّ أنواعِ الأشعةِ الكهرومغناطيسية، فحاصلُ ضربِ طولِ الموجةِ في ترددِها،



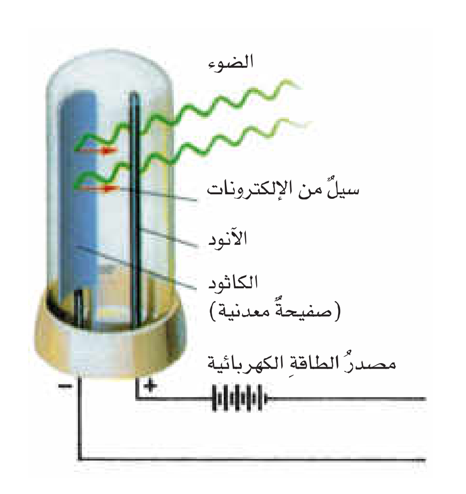

**الشكل 2-4** المسافةُ بين قمتينِ متتاليتينِ لموجةِ الماءِ هي طولُ الموجة (λ). يمكنُ قياسُ ترددِ الموجةِ (ν) بإحصاءِ عددِ مراتِ ارتفاعِها وانخفاضِها عند نقطةٍ معيّنة من عمودٍ خشبيٍّ مثلاً، خلالَ وحدةٍ زمنيةٍ محددة.

أي: ($\lambda v$)، يكونُ تعدادًا ثابتًا. ومن المعروفِ، تعقيبًا على ذلك، أن طولَ الموجةِ ($\lambda$) يتناسبُ عكسًا مع ترددِها ($v$). بمعنى آخر، عندما يصغرُ طولُ الموجةِ يزدادُ ترددُها، والعكسُ صحيح.

## التأثيرُ الكهروضوئيّ

أجرى العلماءُ تجربتين، في بدايةِ القرنِ التاسعَ عشرَ، تتعلّقانِ بتداخلِ الضوءِ والمادّة. هذا التداخلُ لم يتمَّ تفسيرُهُ بنظريةِ الضوءِ الموجيّة. تضمنتْ إحدى التجربتين دراسةَ ظاهرةٍ تُعرفُ بظاهرةِ **التأثيرِ الكهروضوئيِّ** photoelectric effect. تُعنى هذه الظاهرةُ بانبعاثِ الإلكتروناتِ من فِلزٍّ عندما يوجَّهُ إليه الضوء، كما يظهرُ في **الشكل 3-4**.

يعودُ سرُّ هذه الظاهرةِ إلى ترددِ الضوءِ الذي يتعرّضُ له الفِلزّ، لكنَّ الإلكتروناتِ لا تنبعثُ عندما يترددُ الضوءُ أقلَّ من اللازم، مهما طالت فترةُ تعريضِ الفِلزِّ للضوء. والنظريةُ الموجيّةُ للضوءِ تفيدُ أن للضوءِ طاقةً كافيةً لإثارةِ إلكتروناتِ الفلزاتِ وانطلاقِها بأيِّ ترددٍ كان. لذلك لم يستطعِ العلماءُ أن يفسروا ضرورةَ وجودِ حدٍّ أدنى من ترددِ الضوءِ لحصولِ ظاهرةِ التأثيرِ الكهروضوئيّ.




**الشكل 3-4** ظاهرةُ التأثيرِ الكهروضوئيّ: عندما يُعرَّضُ سطحُ فِلزٍّ لأشعةٍ كهرومغناطيسية تنبعث الإلكتروناتُ منه وتُحدِثُ تيارًا كهربائيًا.

### الضوءُ كجسيمات

يعودُ تفسيرُ ظاهرةِ التأثيرِ الكهروضوئيِّ إلى سنةِ 1900، عندما كان العالمُ الألمانيُّ ماكس بلانك يدرسُ انبعاثَ الضوءِ من الأجسامِ الساخنة. فقد افترضَ أن جسمًا ساخنًا لا يمكنُهُ أن يطلقَ طاقةً كهرومغناطيسيةً مستمرَّةً على شكلِ موجات كما كان متوقعًا. لذلك، كان اقتراحُ بلانك يقولُ بأن الأجسامَ تبعثُ طاقةً بكمياتٍ محددةٍ صغيرةٍ تدعى كمَّات. **والكمُّ** quantum هو الكمِّيةُ الأدنى من الطاقةِ التي يمكنُ أن تفقدَها أو تكتسبَها الذرة. وقدّمَ بلانك معادلةً رياضيةً ربطَ فيها بين طاقةِ الكمِّ وترددِ الموجةِ في الإشعاعات:

$$E = hv$$

$E$، في هذه المعادلةِ، تمثِّلُ الطاقةَ لكمٍّ من الأشعةِ المنبعثة، مقدَّرةً بوحدةِ الجول، و($v$) تمثلُ ترددَهُ الموجيّ، و($h$) هي مقدارٌ فيزيائيٌّ ثابتٌ يُعرفُ الآن بثابتِ بلانك، ويساوي $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J•s (جول.ثانية).

بعد خمسِ سنوات، أي في سنة 1905، وَسّعَ ألبرت أينشتاين نظريةَ بلانك بتقديمِهِ فكرةً جذريةً تقولُ بأن الأشعّةَ الكهرومغناطيسيةَ لها طبيعةٌ مزدوجة: موجيّةٌ وجسيمية. فالضوءُ يُظهرُ عدّةَ خواصَّ جسيميةٍ شبهِ موجية. ويمكنُ أيضًا أن يُعتبرَ سيلاً من الجسيماتِ يحتوي كلٌّ منها على كمٍّ من الطاقة. وأطلقَ أينشتاين على هذه الجسيماتِ اسمَ فوتونات. **والفوتون** photon جسيمٌ من إشعاعٍ كهرومغناطيسيٍّ له كتلةٌ تساوي صفرًا، لكنه يحملُ كمًّا من الطاقة. ويعتمدُ كمُّ طاقةِ الفوتونِ على ترددِ الموجةِ الكهرومغناطيسية.

$$E_{photon} = hv$$

فسَّر أينشتاين ظاهرةَ التأثيرِ الكهروضوئيِّ باقتراحٍ يقولُ بأن المادّةَ تمتصُّ الأشعةَ الكهرومغناطيسيَّةَ بأعدادٍ صحيحةٍ فقط من الفوتونات. ولكي ينبعثَ الإلكترونُ من سطحِ

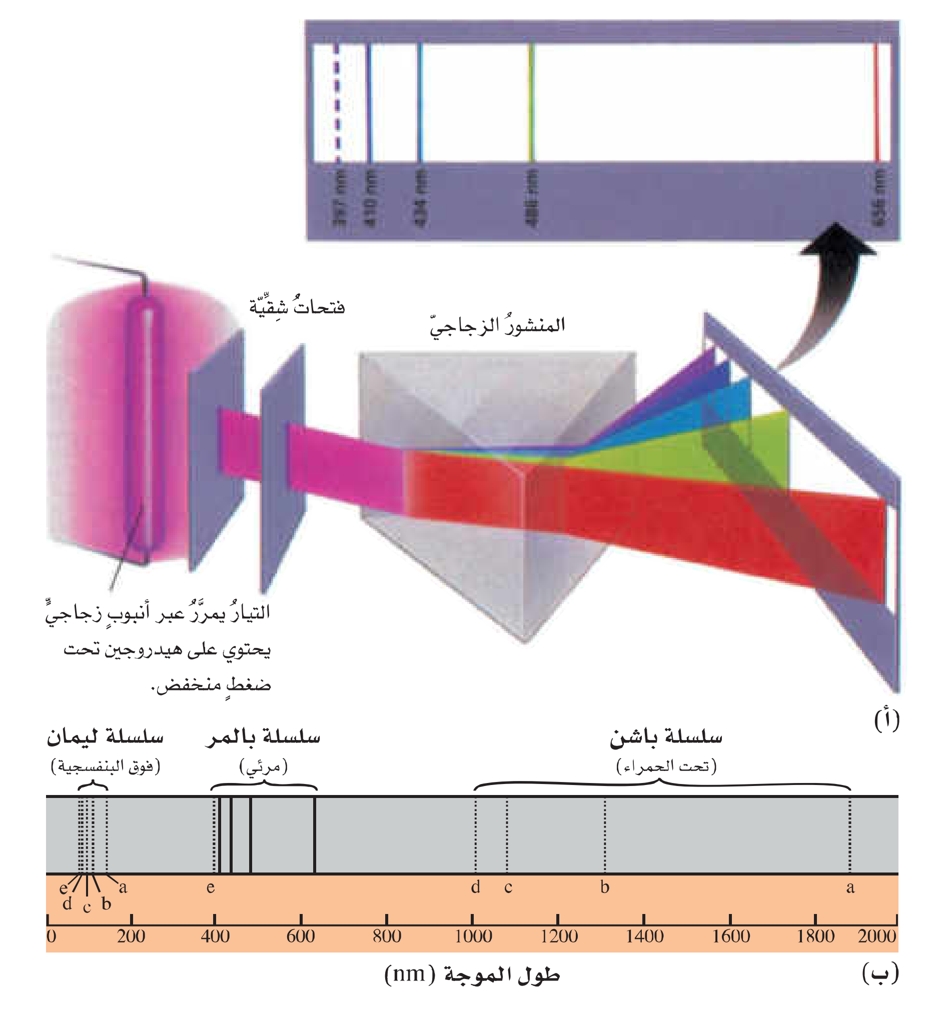
فلزيٍّ، يلزمُهُ أن يُقذفَ، على الأقلّ، بفوتونٍ واحدٍ يمتلكُ طاقةً كافيةً لفصلِ الإلكترون (ما يسمّى تأيين الذرّة). وحسبَ العلاقة $E_{photon} = hv$، كمُّ الطاقةِ الأدنى اللازمُ للتأيينِ يُوازي التردداتِ الدنيا. فإذا كانت تردداتُ الفوتون أقلَّ من هذه القيمةِ الدنيا، فإنه يبقى مرتبطًا بسطحِ الفلزِّ ولا ينفصل. وترتبطُ الإلكتروناتُ عمومًا في مختلفِ العناصرِ بذراتِها بقوةٍ أو بضعفٍ. بناءً عليه، كلُّ عنصرٍ يحتاجُ إلى تردداتٍ دنيا معينةٍ متناسبةٍ معه ليظهرَ التأثير الكهروضوئيّ.



**الشكل 4-4** ذراتُ النيون في حالةِ الاستثارةِ تبعثُ ضوءًا عندما تهبطُ إلكتروناتُها إلى المستوى الأرضيِّ أو إلى مستوى استثارةٍ ذي طاقةٍ أقلّ.

## طيفُ الانبعاثِ الخطيِّ لذرّةِ الهيدروجين

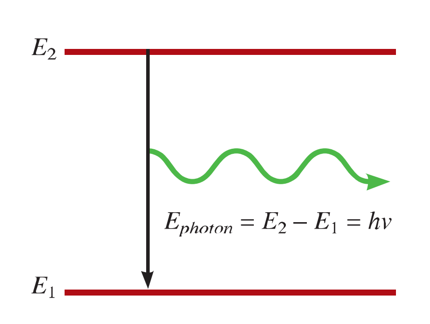
عند مرورِ التيّارِ في غازٍ تحت ضغطٍ منخفض، تزدادُ الطاقةُ الكامنةُ لبعضِ ذرّاتِ الغاز. ويُسمّى أدنى مستوى في طاقةِ الذرّةِ **المستوى الاعتياديَّ** أو **الأرضيَّ** ground state. عندما يصبحُ مستوى الطاقةِ الكامنةِ في الذرةِ أعلى من المستوى الأرضيِّ تكونُ الذرةُ في **حالةِ استثارة** excited state، وعندما تعودُ الذرةُ من حالةِ الاستثارةِ إلى المستوى الأرضيِّ تفقدُ ما اكتسبتهُ من طاقةٍ في شكلِ أشعةٍ كهرومغناطيسية. وإنتاجُ أضواءٍ ملوّنةٍ في مصابيحِ النيون، كما يظهرُ في **الشكل 4-4**، هو مثالٌ شائعٌ على هذه الحالة.




**الشكل 5-4** (أ) تبعثُ ذرّاتُ الهيدروجين، في حالةِ الاستثارة، توهجاتٍ زهريةَ اللّون. وعند تمريرِ الجزءِ المرئيِّ من الضوءِ المنبعثِ خلالَ منشورٍ زجاجيٍّ يتحللُ الضوءُ إلى موجاتٍ محدَّدةٍ تشكّلُ جزءًا من طيفِ الانبعاثِ الخطيِّ لذرةِ الهيدروجين. (ب) سلسلةٌ من الأطوالِ الموجيةِ للضوءِ المنبعثِ تشكلُ طيفَ الانبعاثِ الخطيِّ للهيدروجين. وتمثلُ الحروفُ تحت الخطوطِ انتقالَ طاقةِ ذرةِ الهيدروجين من مستوًى إلى آخر. ويوفرُ نموذجُ نيلز بور لذرةِ الهيدروجين تفسيرًا لهذه الانتقالات.

عندما قامَ الباحثونَ بتمريرِ تيّارٍ كهربائيٍّ في أنبوبِ تفريغٍ يحتوي على غازِ الهيدروجين تحت ضغطٍ منخفض، لاحظوا انبعاثَ توهجاتٍ زهريةِ اللون. وعند تمرير شعاعٍ دقيقٍ من الضوءِ المنبعثِ من خلالِ منشورٍ زجاجيٍّ، تحللَ الضوءُ إلى مجموعةِ موجاتٍ من الضوءِ المرئيِّ ذاتِ تردداتٍ محدّدة، وبالتالي ذاتِ أطوالٍ موجيةٍ محددةٍ تبعًا للمعادلة: $\lambda = (c/\nu)$. إن حُزَمَ الضوءِ المنبعثةَ من أنبوبِ التفريغِ هي جزءٌ من **طيفِ الانبعاثِ الخطِّيِّ** line emission spectrum للهيدروجين، كما يظهرُ في **الشكل 4-5**.

تدَّعي النظريةُ الكلاسيكيةُ أن ذرةَ الهيدروجين يمكنُ أن تُستثارَ بأيِّ كمِّيةٍ من الطاقةِ تتلقاها. لذلك، توقَّعَ العلماءُ انبعاثَ سلسلةٍ من **طيف مستمر** continuous spectrum. لكنَّ ذرةَ الهيدروجين لا تبعثُ إلاّ تردداتٍ محددةً من الضوء، لماذا؟ لتفسير هذه الملاحظاتِ جرت عدةُ محاولاتٍ قادتْ إلى نظريةٍ جديدةٍ للذرةِ تُدعى نظريةَ الكمّ.




**الشكل 4-6** عندما تعودُ الذرةُ، وهي في حالتِها المستثارة، من مستوى الطاقة $E_2$ إلى مستوى الطاقة $E_1$ تشعُّ فوتونًا طاقتُهُ تساوي $E_2 - E_1 = E_{photon} = h\nu$

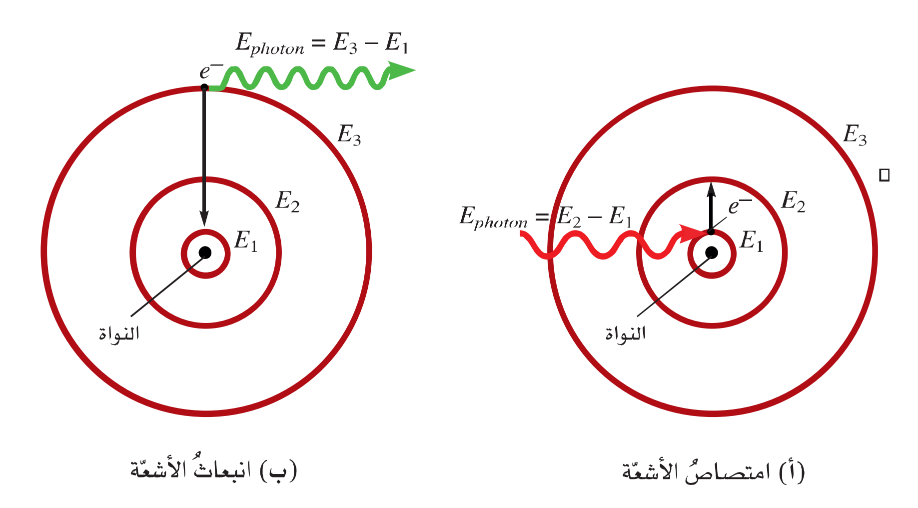
فحالَما تعودُ ذرةُ هيدروجين من حالتِها المستثارةِ إلى المستوى الأرضيّ، أو إلى مستوى الطاقةِ الأدنى، يشعُّ منها فوتون، وتكونُ طاقةُ هذا الفوتون ($E_{photon} = h\nu$) مساويةً للفرقِ بين مستويي الطاقةِ الأولِ والثاني، كما هو موضَّح في **الشكل 4-6**. أظهرتْ حقيقةُ أن ذرّاتِ الهيدروجين تطلقُ فقط تردداتٍ محددةً من الضوء أن فرقَ الطاقةِ بين مستوياتِ طاقةِ الذرةِ هو فرقٌ محدَّد. وهذا يعني أن إلكترونَ ذرةِ الهيدروجين موجودٌ فقط في مستوياتٍ ذاتِ طاقةٍ محددةٍ جدًّا.

وقد تمَّ اكتشافُ سلاسلَ أخرى من الخطوطِ في مناطقِ الأشعةِ فوق البنفسجيةِ وتحت الحمراءِ من طيفِ الانبعاثِ الخطِّيِّ للهيدروجين. تظهرُ الأطوالُ الموجيَّةُ لبعضِ هذه الأطيافِ السلسليةِ في **الشكل 4-5** (ب)، ويُفرَّقُ بينها بسلاسلِ ليمان وبالمر وباشن، نسبةً إلى مكتشِفيها. في أواخرِ القرنِ التاسعَ عشرَ طُوِّرتْ علاقةٌ رياضيةٌ بين الأطوالِ الموجيَّةِ لطيفِ الانبعاثِ الخطِّيِّ للهيدروجين، إلا أن التحدِّيَ الأهمَّ الذي واجهَهُ العلماءُ كان في وضعِ نموذجٍ لذرةِ الهيدروجين يفسِّرُ هذه العلاقة.

## نموذجُ بور لذرةِ الهيدروجين

توصّلَ الفيزيائيُّ الهولنديُّ نيلز بور Neils Bohr سنةَ 1913 إلى حلٍّ للُغزِ الطيفِ الخطيِّ لذرةِ الهيدروجين عندما اقترحَ نموذجًا لذرةِ الهيدروجين يربطُ بين إلكترون الذرةِ وانبعاثِ الفوتونات. حسبَ هذا النموذجِ يدورُ الإلكترونُ حول نواةِ الذرةِ في مستوياتِ طاقةٍ محددةٍ فقط، وعندما يكونُ في أحدِ هذه المستوياتِ تكونُ للذرةِ طاقةٌ محددةٌ ثابتة. تبعًا لذلك، يكونُ الإلكترون ومن ثَمَّ ذرةُ الهيدروجين في مستوى الطاقةِ الأدنى عندما يكونُ المستوى أقربَ إلى نواةِ الذرة. ويفصلُ بين المستوى والنواةِ عادةً منطقةٌ فسيحةٌ تخلو من الإلكترونات. وتتزايدُ طاقةُ الإلكترونِ عادةً كلَّما ابتعدَ مستواهُ عن نواةِ الذرة.

يمكنُ تشبيهُ مستوياتِ الطاقةِ في الذرةِ في نموذجِ بور بدرجاتِ السلَّم، فعندما تقفُ على سلَّمٍ تكونُ قدماكَ على إحدى الدرجاتِ، فأنتَ لا تستطيعُ الوقوفَ بينَ الدرجات. وكمّيةُ الطاقةِ الكامنةِ التي تمتلكُها تتناسبُ معَ موقعِ الدرجةِ التي تقفُ عليها، سواءٌ أكانت الأولى، أم الثانية.. الخ. وبالطريقةِ نفسِها فإن الإلكترون يقعُ في أحدِ المستوياتِ وليس بينها.




(ب) انبعاثُ الأشعّة

(أ) امتصاصُ الأشعّة

**الشكل 7-4** فوتونُ ذرةِ الهيدروجين حسبَ نموذجِ بور: (أ) امتصاصُ الأشعةِ (ب) انبعاث الأشعةِ. تكونُ تردداتُ الضوءِ التي يمكنُ امتصاصُها أو انبعاثُها محددة، لأن الإلكترونَ يدور في مستويات ذاتِ طاقاتٍ محددة هي $E_1$، $E_2$ و $E_3$، وهكذا.

**كيفَ فسَّرتْ نظريةُ بور الطيفَ الخطِّيَّ لذرةِ الهيدروجين؟** عندما يكونُ الإلكترونُ في أيِّ مستوى لا يستطيعُ أن يكتسبَ طاقةً أو يفقدَها، غيرَ أن الإلكتروناتِ تتحركُ صعودًا إلى مستوى طاقةٍ أكبرَ عند اكتسابها كمّيةً من الطاقةِ تساوي الفرقَ بين طاقتَي المستويين، المستوى ذي الطاقةِ الأعلى والمستوى ذي الطاقةِ الأدنى. فعندما تكونُ ذرةُ الهيدروجين في حالةِ الاستثارةِ يكونُ إلكترونُها في مستوى طاقةٍ أعلى (أي في المستوى الأبعدِ عن النواة)، وعندما تفقدُ الطاقةَ المكتسبةَ يعودُ الإلكترونُ إلى مستواهُ الأصليّ، أي إلى مستوى طاقةٍ أدنى (المستوى الأقربِ إلى النواة). أثناءَ هذه العودةِ ينبعثُ فوتونٌ له طاقةٌ مساويةٌ لفرقِ الطاقةِ بينَ المستويين، (ذي الطاقةِ الأعلى وذي الطاقةِ الأدنى). **والشكل 7-4** يوضحُ كيفيةَ امتصاصِ الأشعةِ وانبعاثِها حسبَ نموذجِ بور لذرةِ الهيدروجين. وقد وُجدَ فيما بعدُ أن ما ينطبقُ على ذرةِ الهيدروجين لا ينطبقُ على أطيافِ ذرّاتٍ تحتوي على أكثرَ من إلكترون، مما يعني ظهورَ قصورٍ في نظريةِ بور لتفسيرِ السلوكِ الكيميائيِّ عامَّةً.

## مراجعةُ القسم 1-4

**1.** ما أهمُّ المآخذِ على نموذجِ رذرفورد للذرة؟

**2.** اكتبِ المعادلةَ التي تربط سرعةِ الأشعةِ الكهرومغناطيسيةِ وطول موجتِها وترددها.

**3.** عرِّفْ ما يلي:

أ. الأشعةَ الكهرومغناطيسية

ب. طولَ الموجة

ج. التردُّد

د. الكمّ

هـ. الفوتون

**4.** ماذا تعني الطبيعةُ المزدوجةُ للضوء (الموجية والجسيمية)؟

**5.** صِفْ نموذجَ بور لذرةِ الهيدروجين.

## القسم 2-4

### النواتجُ التعليمية

- يناقِشُ دورَ لويس دي بروغلي في تطويرِ نموذجِ الكمِّ للذرة.
- يقارِنُ ويقابِلُ بين نموذجَيْ بور والكمِّ للذرة.
- يذكرُ أعدادَ الكمِّ الأربعةَ موضحًا أهميتَها.
- يربطُ عددَ تحت المستوياتِ التابعةِ لمستوياتِ الطاقةِ الرئيسةِ لكلِّ ذرةٍ بعددِ الأوربتالاتِ في تحت المستوياتِ وعددِها في مستوياتِ الطاقةِ الرئيسة.

# نموذجُ الكمِّ للذرة

اعتبرَ العلماءُ، في بدايةِ القرنِ العشرين، أن نموذجَ بور لذرةِ الهيدروجين يخالف المنطق. فما الذي يجعلُ الإلكترونَ يدورُ حول النواةِ في مستوياتٍ محدَّدةٍ ذاتِ طاقاتٍ ثابتةٍ، بدلَ أن يتحركَ في مستوياتٍ لا حصرَ لها وذاتِ طاقاتٍ مختلفة؟

للإجابة عن السببِ في أنّ مستوياتِ طاقةِ الذرةِ محدّدةٌ من حيث الكمّ، وجد العلماءُ أنه من الضروريِّ إعادةُ النظرِ في طبيعةِ الإلكترون نفسِه.

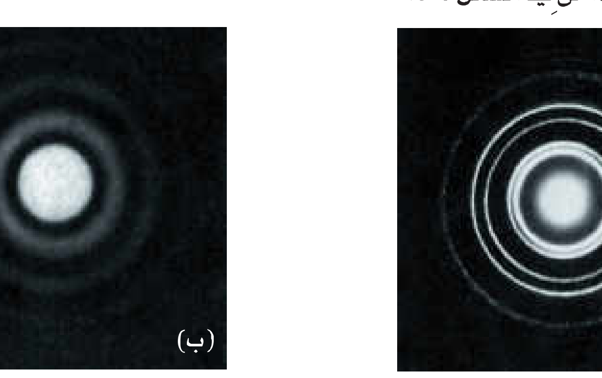
## الإلكتروناتُ كموجات

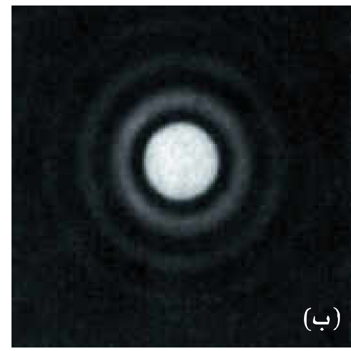
أظهرتِ الأبحاثُ حول ظاهرةِ التأثيرِ الكهرُوضوئيِّ وانبعاثِ الطيفِ الخطِّيِّ لذرةِ الهيدروجين أن للضوءِ طبيعةً مزدوجة. فهو ينتقلُ وكأنه مكوَّنٌ من جسيمات، وفي الوقتِ نفسِه له خاصيةٌ موجيّة. من هذا المنطلقِ ينشأُ التساؤل: هل يمتلكُ الإلكترونُ مثلَ هذه الطبيعةِ المزدوجة؟ راودَ هذا التساؤلُ العالمَ الفرنسيَّ لويس دي بروغلي، في العام 1924، وكان للجوابِ الذي افترضَهُ دورٌ بارزٌ في تغييرِ مفاهيمنا حول المادّة.

أشارَ دي بروغلي إلى أن سلوكَ مستوياتِ كمِّ الإلكترون التي وضعَها بور، مشابهٌ إلى حدٍّ بعيد لسلوكِ الموجاتِ المعروف. عندها أدرك الباحثونَ أن الموجةَ المحدّدةَ بفضاءٍ معيَّن تمتلكُ ترددات ثابتة. وهكذا اقترح دي بروغلي أن حركةَ الإلكتروناتِ في حالتِها الموجيَّةِ تنحصرُ في فضاءٍ حول نواةِ الذرة. وهذا يعني أيضًا أن موجاتِ الإلكترون توجدُ فقط بتردداتٍ محدّدة. واستنادًا إلى العلاقة $E = h\nu$، تتناسبُ هذه التردداتُ مع طاقاتٍ معيَّنةٍ تُسمّى «طاقاتِ كمٍّ مداراتِ بور».

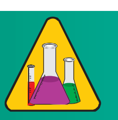
وسرعانَ ما أثبتتِ التجربةُ فرضيةَ دي بروغلي في الصفاتِ الموجيةِ للإلكترون، عندما وضَّح الباحثونَ أن الإلكتروناتِ، كالموجاتِ الضوئية، يمكنُ ثَنْيُها وكسرُها. والانكسارُ هنا يعني انحناءَ الموجةِ لدى مرورِها على حافةِ مادّةٍ ما (حافةِ ذرةِ البلّورِ مثلًا).

وبيَّنَتْ تجاربُ الانكسارِ أيضًا، أن الشعاعَ الإلكترونيَّ هو تمامًا كالموجات، يتداخلُ بعضُهُ في بعض. ويحصُلُ هذا التداخلُ عندما تتقاطعُ الموجاتُ ويؤدِّي تقاطعُها إلى اختزالِ الطاقةِ في بعض المواضع وزيادتِها في مواضعَ أخرى. يمكنُ ملاحظةُ تأثيرِ الانكسار والتداخلِ في **الشكل 4-8**.




**الشكل 4-8** أنماطُ الانكسار: (أ) لشعاعٍ إلكترونيٍّ يمرُّ في بلّورة. (ب) لشعاعٍ ضوئيٍّ مرئيٍّ يمرُّ في ثقبٍ صغير. يلاحَظُ أنَّ كلا النمطين يؤكدان صورةَ الموجاتِ المنحنيةِ المتداخلة، إذ ترتبطُ المناطقُ المضيئةُ بمناطقِ تزايدِ الطاقة، فيما ترتبطُ المناطقُ الداكنةُ بمناطقِ انخفاضِ الطاقة.



نشاط عملي سريع

# طبيعةُ الضوءِ الموجيّة: التداخل





ضعِ النظاراتِ الواقيةَ والبسْ المريول

## المواد

- مقصّ
- ورقٌ مقوّى
- مسمارٌ صغير
- شريطٌ لاصق
- لفافة ألمينيوم
- لوحةُ عرضٍ بيضاء، أو لوحةٌ من الورقِ المقوّى
- مصباحٌ كهربائيٌ

## السؤال

هل يُظهرُ الضوءُ خاصَّةَ التداخلِ الموجيِّ عندما يُسلَّطُ شعاعٌ من الضوءِ عبر ثقبٍ إلى شاشةٍ بيضاء؟

## الطريقة

سجِّلْ جميعَ ملاحظاتِك.

1. لصنعِ الشاشةِ والثقبِ، اقطعْ مربعًا من الورقِ المقوّى طولُ ضلعِه 20 cm. اثقبِ المربعَ في وسطِهِ على شكلِ مربعٍ صغيرٍ طولُ ضلعه 2 cm، ثم قصَّ مربَّعًا من ورقِ الألمينيوم طولُ ضلعِه 7 cm. وباستعمالِ مسمارٍ صغيرٍ يُدفعُ بالإبهامِ، اثقبْ مركزَ مربعِ الألمينيوم، والْصِقْ ورقَ الألمينيوم فوق الثقب (2 cm)، على أن يكونَ الثقبُ في الوسطِ تمامًا، كما يظهرُ في الرسمِ المرفَق.
2. استعملْ لوحةَ العرضِ البيضاءَ لتصنعَ شاشةً مربعة 35 cm x 35 cm.
3. في غرفةٍ معتمةٍ، سلِّطْ ضوءَ المصباحِ الكهربائيِّ على الثقبِ، عن بعدِ حوالي 1 cm. يجبُ أن تكونَ الشاشةُ المثقوبةُ على بُعدِ حواليّ 50 cm من شاشةِ العرضِ الكبيرة، كما هو مبيَّنٌ في الرسم.

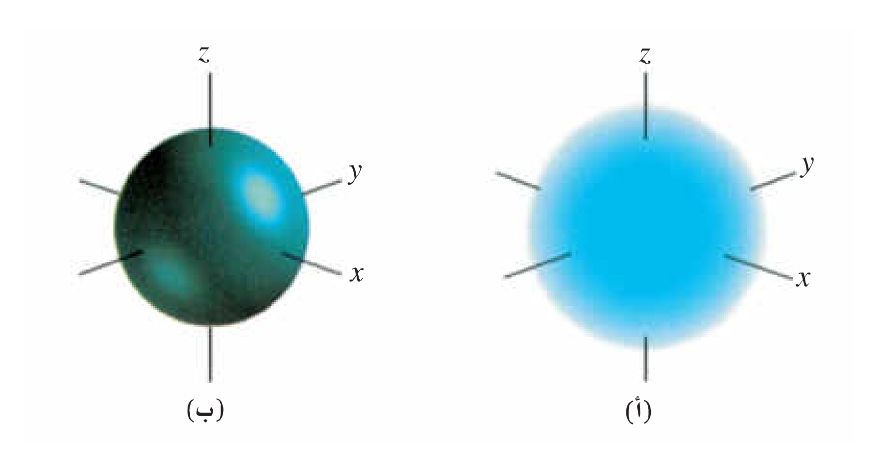


## المناقشة

1. هل لاحظتَ أنماطَ التداخلِ على الشاشة؟
2. من خلالِ ملاحظاتِك، ماذا تستنتجُ عن طبيعةِ الضوء؟

# الأوربتالاتُ الذريةُ وأعدادُ الكمّ

طوَّرَ العلماءُ نظريةً تُعرفُ بنظريةِ الكمّ، تنصُّ على احتمالِ وجودِ الإلكترونِ في منطقةٍ معينةٍ من الفراغِ المحيطِ بالنواة، وليس في مستوياتٍ محددةِ الأبعادِ كما أوضحَ بور. أُطلق على هذه المنطقةِ من الفراغِ الثلاثيةِ الأبعادِ، التي يُحتملُ وجودُ الإلكترونِ فيها، اسمُ **الأوربتال** orbital، وهو ما يمكنُ وصفُه، بطريقةٍ أخرى، بأنه السحابةُ الإلكترونيةُ المحيطةُ بالنواة. يظهرُ في **الشكل 9-4** طريقتانِ لتمثيلِ نوعٍ واحدٍ من الأوربتالاتِ الذرية. وكما سترى لاحقًا، فإن للأوربتالاتِ الذريةِ أحجامًا وأشكالاً مختلفة.

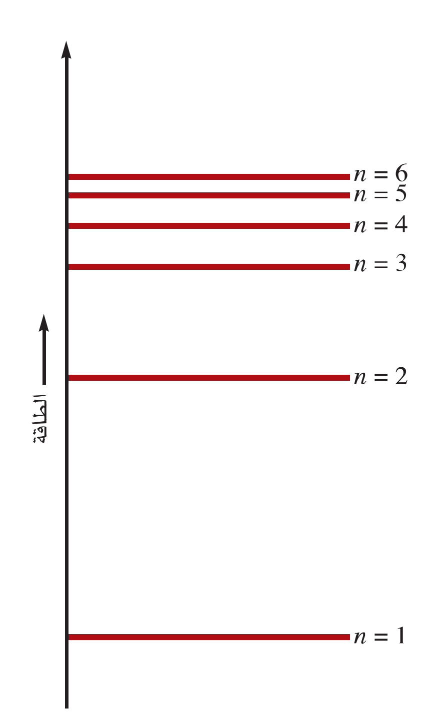



**الشكل 9-4** طريقتان لتمثيلِ أوربتالاتِ الذرة: (أ) احتمالُ أن يكونَ وجودُ الإلكترونِ متناسبًا مع كثافةِ السحابة (ب) المنطقةُ التي يُحتملُ وجودُ إلكترونٍ فيها لفترةٍ محدَّدة، والنسبةُ في هذه الحالة 90%.

استخدمَ العلماءُ **أعدادَ الكمّ** quantum numbers ليصفوا بشكلٍ تامٍّ خواصَّ الأوربتالِ وخواصَّ الإلكتروناتِ التي يحتوي عليها.

## عددُ الكمِّ الرئيس

**عددُ الكمِّ الرئيس** principal quantum number $(n)$ يشيرُ إلى مستوى الطاقةِ الرئيسِ الذي يحتلُّه الإلكترون. هذا العددُ موجبٌ صحيح أي 1، 2، 3... الخ. وكلما ازدادتْ قيمةُ $(n)$ تزدادُ طاقةُ الإلكترونِ ومعدلُ بُعدِه عن النواة (لاحظ **الشكل 10-4**).
إذا كان عددُ الكمِّ لإلكترونٍ معيَّن $n = 1$، فهذا يعني أن الإلكترونَ يحتلُّ مستوى الطاقةِ الرئيسَ الأول، أو المستوى الأدنى، وأنه يقعُ على أقربِ مسافةٍ من النواة. وعندما يحتلُّ أكثرُ من إلكترونٍ المستوى نفسَه، يقالُ: هذه الإلكتروناتِ لها قيمةُ $(n)$ نفسُها. ويحدَّدُ عددُ الأوربتالاتِ الذرية، في كلِّ مستوى طاقةٍ رئيس، بالتعبير $(n^2)$ .




**الشكل 10-4** مستوياتُ الطاقةِ الرئيسةُ لذرةٍ يمثلُها عددُ الكمِّ الرئيس $(n)$.

## رقمُ الكمِّ الثانويّ

عدا الأوربتالاتِ الموجودةِ في مستوى الطاقةِ الرئيسِ الأول، تحتوي الأوربتالاتُ ذاتُ الأشكالِ المختلفة، التي توجدُ في تحتِ المستويات، على قيمةِ $n$ محدَّدة. يدلُّ **عددُ الكمِّ الثانويُّ** angular momentum quantum number، ورمزُهُ $l$، على شكلِ كلِّ أوربتال. ويكونُ العددُ المحتملُ لأشكالِ الأوربتالاتِ المختلفةِ مساويًا لـ $n$ في مستوى طاقةٍ رئيسٍ محدَّد. ويمكنُ أن يَتَّخِذَ الرمزُ $l$ قيمةَ الصفرِ أو قيمةَ أيِّ عددٍ صحيحٍ موجبٍ آخرَ يساوي

**الجدول 1-4 الأحرفُ التي تدلُّ على تحتِ المستوياتِ حسبَ قيم $l$**

| الحرف | $l$ |
|---|---|
| $s$ | 0 |
| $p$ | 1 |
| $d$ | 2 |
| $f$ | 3 |

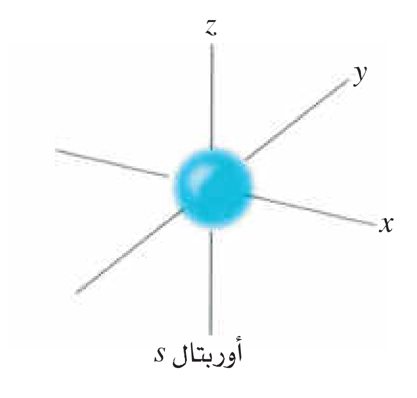
أو يقلُّ عن $n - 1$. فالأوربتالُ الذي قيمةُ $n$ فيه تساوي 2، مثلاً، يحتوي على شكلٍ واحدٍ أو شكلينِ على أساسِ أن $l = 0$ أو $l = 1$. ويُرمَزُ إلى الأوربتالِ بحرفٍ اعتمادًا على قيمةِ $l$، كما هو مبيَّنٌ في **الجدول 1-4**.

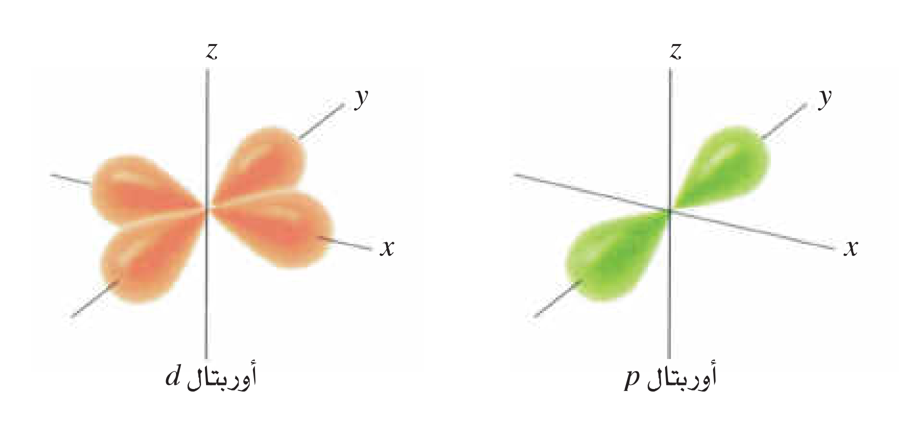
لا بدَّ أخيرًا من التأكدِ من أن هناك فروقاتٍ بين الأوربتالاتِ الإلكترونيةِ المختلفة، وخصوصًا من حيث الشكل. في **الشكل 11-4** أوربتالاتٌ $s$ ذاتُ شكلٍ كرويّ، وأوربتالاتُ $p$ لها شكلُ الدّمبل (تشبه الرقم 8 علمًا بأنها ثلاثيةُ الأبعاد)، وأوربتالاتٌ $d$ أكثرُ تعقيدًا، أما أوربتالاتُ $f$ فهي معقّدةٌ إلى درجةٍ لا تسمحُ لنا بنقاشِها.

وتزدادُ طاقةُ الإلكتروناتِ في تحت المستوياتِ التابعةِ للمستوياتِ الرئيسةِ تبعًا لترتيبِ الأحرفِ التي ترمزُ إليها. فعددُ تحت المستويات ضمن أيِّ مستوًى رئيسٍ للطاقةِ هو عددُ الكمِّ الرئيسِ ($n$) نفسُه. لذلك، في المستوى الرئيسِ الأولِ ($n = 1$)، يوجدُ فقط تحتُ مستوىً واحد، وفي المستوى الرئيسِ الثاني ($n = 2$) يوجدُ تحتُ مستويين ($s$ و $p$)، وفي مستوى الطاقةِ الثالثِ ($n = 3$) ثلاثةُ تحتِ مستويات (تحتوي على أوربتالاتِ $s$ و $p$ و $d$)، ولمستوى الطاقةِ الرابعِ ($n = 4$) أربعةُ تحتِ مستويات (تحتوي على أوربتالاتِ $s$ و $p$ و $d$ و $f$). وهكذا، إذا كان للذرة عددُ $n$ من مستوياتِ الطاقةِ الرئيسةِ يكونُ لها عددُ $n$ من تحت مستوياتٍ متمثلةٍ بالأوربتالاتِ.

بناءً عليه، يُعرّف كلُّ أوربتالٍ ذريٍّ بعددِ الكمِّ الرئيسِ متبوعًا بحرفِ تحتِ المستوى. فمثلاً $1s$ هو أوربتالٌ في تحت المستوى $s$ الواقعِ في المستوى الرئيسِ الأول، أما $2p$ فيمثّلُ أوربتالاتِ تحتِ المستوى $p$ الواقعةِ في مستوى الطاقةِ الرئيسِ الثاني.

**الشكل 11-4** أوربتالُ تحتِ المستويات $s$ و$p$ و$d$ وأشكالُها المختلفة. كلُّ أوربتالٍ ظاهرٍ في الشكلِ يحتلُّ منطقةً مختلفةً من الفراغِ المحيطِ بالنواة.



**الجدول 2-4 العلاقةُ بين أعدادِ الكمّ في التركيبِ الذرّي**

| عددُ الكمِّ الرئيس لمستوى الطاقةِ الرئيس ($n$) | تحتُ المستوياتِ في مستوى الطاقة الرئيس ($n$ sublevels) | عددُ الأوربتالاتِ في كلِّ تحتِ مستوى | عددُ الأوربتالاتِ في مستوى الطاقة الرئيس ($n^2$) | عددُ الإلكتروناتِ في كلِّ تحتِ مستوى | عددُ الإلكتروناتِ في المستوى الرئيس للطاقة ($2n^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $s$ | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 2 | $s$<br>$p$ | 1<br>3 | 4 | 2<br>6 | 8 |
| 3 | $s$<br>$p$<br>$d$ | 1<br>3<br>5 | 9 | 2<br>6<br>10 | 18 |
| 4 | $s$<br>$p$<br>$d$<br>$f$ | 1<br>3<br>5<br>7 | 16 | 2<br>6<br>10<br>14 | 32 |

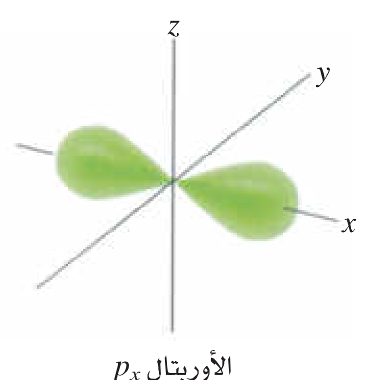
## عددُ الكمِّ المغناطيسيّ

يمكنُ للأوربتالاتِ الذريّةِ أن تتخذَ الشكلَ نفسَهُ حول النواة، لكن باتجاهاتٍ مختلفة. يشيرُ **عددُ الكمِّ المغناطيسيِّ** magnetic quantum number، ورمزُه $m$، إلى اتجاهِ الأوربتال حول النواة. وهنا سنصف اتجاهاتِ الأوربتالاتِ المختلفةَ التي يحتوي كلٌّ منها على قيمةٍ لـ $m$ مختلفة.

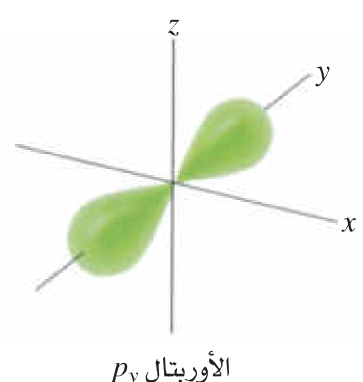
أوربتالُ $s$ شكلُهُ كرويٌّ ويتمحورُ حول النواة، لذلك له اتجاهٌ محتمَلٌ واحد، وعددُ الكمِّ المغناطيسيِّ الذي يناسبُه هو $m = 0$. لذلك نجدُ أوربتالاً $s$ واحدًا في كلِّ تحتِ مستوًى $s$. أما أوربتالاتُ $p$، فهي تمتدُّ في اتجاهاتِها على مدى المحاور $x$، $y$، $z$، في نظامٍ ثلاثيِّ الأبعاد، كما في **الشكل 12-4**. وبذلك نجدُ ثلاثةَ أوربتالاتٍ $p$ في كلِّ تحتِ مستوى $p$، وهي الأوربتالاتُ $p_x$، $p_y$، $p_z$. تحتلُّ الأوربتالاتُ $p$ الثلاثةُ هذه مناطقَ مختلفةً من الفراغِ المحيطِ بالنواة، وتوافقُها القيمُ $m = -1$، $m = 0$، $m = +1$، من دونِ ترتيبٍ محدد.

كذلك نجدُ 5 أوربتالاتٍ $d$ مختلفةٍ في كلِّ تحتِ مستوًى $d$ (انظرِ **الشكل 13-4**). وتتناسبُ هذه الاتجاهاتُ الخمسةُ مع القيم $m = -2$، $m = -1$، $m = 0$، $m = +1$، $m = +2$. وهناك 7 أوربتالاتٍ $f$ مختلفةٍ في كلِّ تحتِ مستوًى $f$.

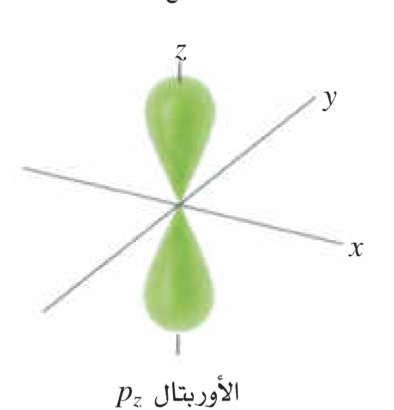
**الشكل 12-4** أشكالُ الأوربتالاتِ $p$ واتجاهاتُها. تشيرُ الرموزُ $x$، $y$، $z$ إلى وجودِ ثلاثةِ محاورَ أو اتجاهاتٍ لأوربتالاتِ تحتِ مستوى $p$. وتقاطعاتُ المحاور $x$، $y$، $z$ تبيِّن موقعَ مركزِ النواة.



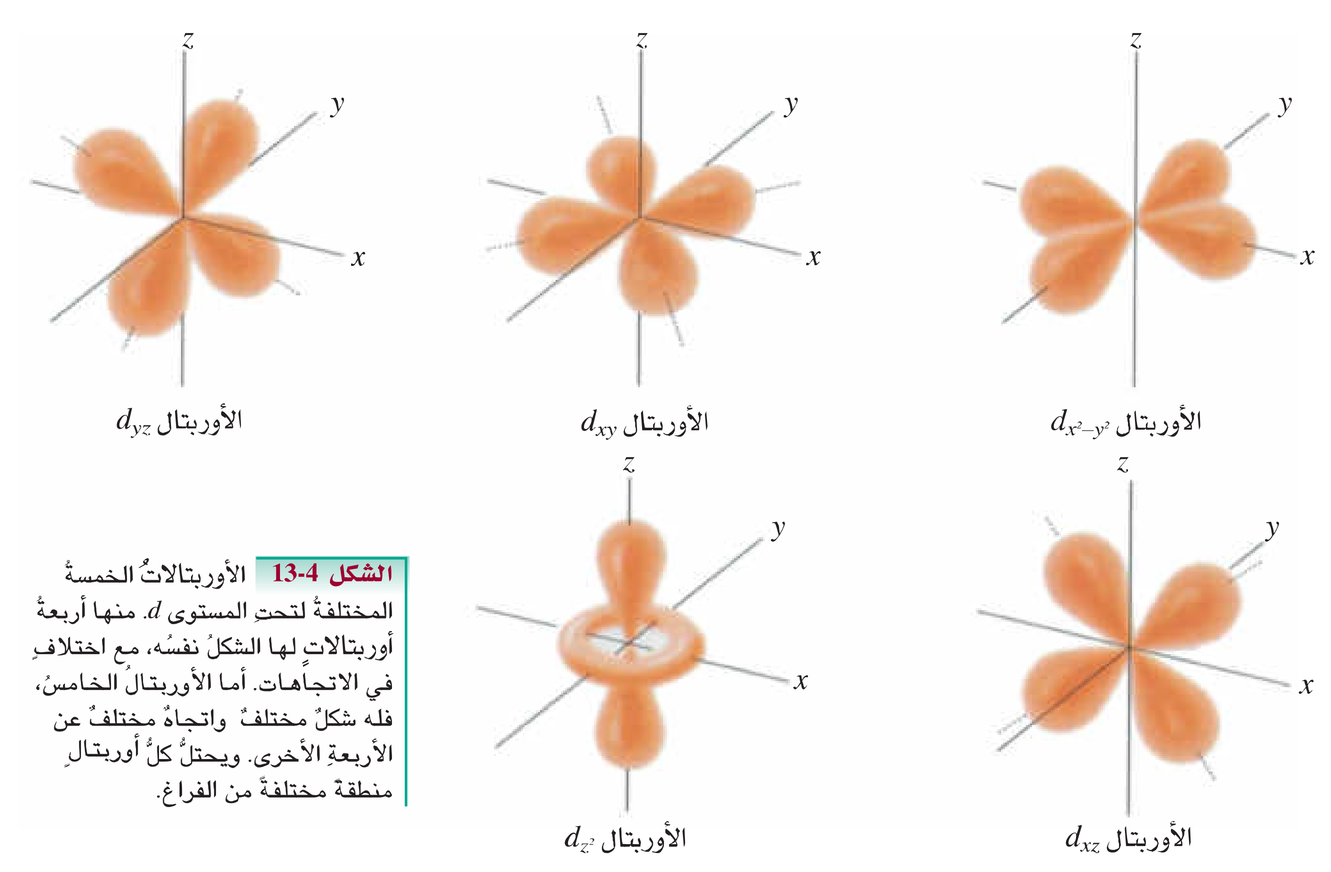
الأوربتال $p_x$



الأوربتال $p_y$



الأوربتال $p_z$




**الشكل 13-4** الأوربتالاتُ الخمسةُ المختلفةُ لتحتِ المستوى $d$. منها أربعةُ أوربتالاتٍ لها الشكلُ نفسُه، مع اختلافٍ في الاتجاهات. أما الأوربتالُ الخامسُ، فله شكلٌ مختلفٌ واتجاهٌ مختلفٌ عن الأربعةِ الأخرى. ويحتلُّ كلُّ أوربتالٍ منطقةً مختلفةً من الفراغ.

إذا نظرنا الآنَ إلى **الجدول 4-2** يمكنُنا أن نلاحظَ أن العددَ الإجماليَّ للأوربتالاتِ في مستوى الطاقةِ الرئيس يزدادُ بازديادِ عددِ ($n$). وفي الحقيقة، إن عددَ الأوربتالاتِ، في كلِّ مستوى طاقةٍ رئيس، يساوي مربَّعَ عددِ الكمِّ الرئيس ($n^2$). و**الجدولُ 4-2** يبيِّنُ العددَ الأقصى الممكنَ للإلكتروناتِ في مستوى الطاقةِ الرئيس وفي تحتِ المستوى، والعددَ الإجماليَّ للأوربتالاتِ في المستوياتِ الرئيسةِ وفي تحتِ المستويات.

## عددُ الكمِّ المغزلي

كما تغزلُ الأرضُ حول محورٍ داخليّ، يغزلُ الإلكترونُ هو الآخرُ حولَ محورٍ في واحدٍ من اتجاهينِ مختلفينِ ليخلقَ حقلاً مغناطيسيًّا. يعبِّرُ عددُ الكمِّ الرابعُ عن اتجاهِ دورانِ (غزْلِ) الإلكترونِ حول نفسِه، وتتمُّ حركةُ الإلكترونِ المغزليةُ في أحدِ اتجاهينِ متعاكسينِ ضمنَ الأوربتالِ الواحد. لذا يتَّخذُ **عددُ الكمِّ المغزْليُّ** spin quantum number إحدى القيمتين $-\frac{1}{2}$ أو $+\frac{1}{2}$ للدلالةِ على حالةِ غزلِ الإلكترونِ في الأوربتال.

### مراجعةُ القسم 4-2

**1.** عرِّفْ ما يلي:
**أ.** مستوياتِ الطاقةِ الرئيسة
**ب.** أعدادَ الكمّ.

**2.** **أ.** اذكر أعدادَ الكمِّ الأربعة.
**ب.** ما المعلوماتُ التي تقدمُها أعدادُ الكمِّ الأربعةُ حول الأوربتالاتِ الذرية؟

**3.** صفْ باختصارٍ ما يقدمُهُ كلُّ رقمٍ من أعدادِ الكمِّ الأربعة.

# الترتيبُ الإلكتروني

القســـم 3-4

## النواتجُ التعليمية

- يحددُ عددَ الإلكترونات اللازمَ لإشباعِ كلِّ مستوى طاقةٍ رئيس.
- يُطبِّقُ مبدأيّ أوفباو وباولي وقاعدة هوند.
- يصفُ ترتيبَ الإلكتروناتِ لذرّاتِ أيِّ عنصرٍ باستعمالِ ترميزِ الأوربتال وترميزِ الترتيبِ الإلكترونيِّ وترميزِ الغازِ النبيلِ عندما يكونُ ذلك مناسبًا.

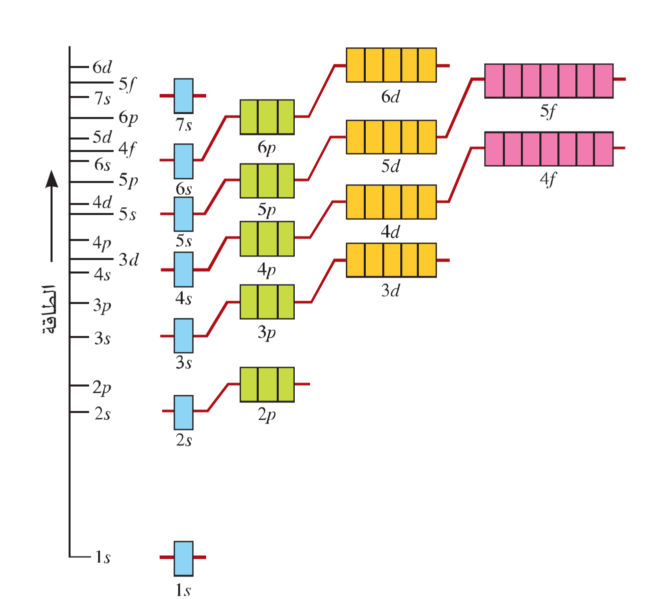
قدَّم نموذجُ الكمِّ توصيفًا متطورًا للذرةِ قياسًا على نموذجِ بور، لأنه وضعَ وصفًا لترتيبِ الإلكتروناتِ في الذرّاتِ عمومًا، وليس في الهيدروجينِ وحدَه. يُعرَفُ ترتيبُ الإلكتروناتِ في الذرةِ **بالترتيبِ الإلكترونيّ** electron configuration. تحتوي ذرّاتُ العناصرِ المختلفةُ على أعدادٍ مختلفةٍ من الإلكترونات، لذلك تتصفُ ذراتُ كلِّ عنصرٍ بترتيبٍ إلكترونيٍّ خاصّ. وككلِّ الأنظمةِ في الطبيعة، تنتظمُ الإلكتروناتُ في الذرةِ في مستوى أقلِّ طاقةٍ ممكنة. وإن ترتيبَ الإلكتروناتِ في هذا المستوى الأدنى للطاقةِ يُسمّى الترتيبَ الإلكترونيَّ في المستوى الأرضيّ. وبتطبيقِ قواعدَ بسيطة، مع اعتبارِ العلاقةِ بين أرقامِ الكمِّ والتركيبِ الذريِّ التي تمّتْ مناقشتُها في **القسم 2-4**، يمكنُ تحديدُ هذا الترتيب.

## القواعدُ التي تحكمُ الترتيبَ الإلكترونيّ

لبناءِ تصوُّرٍ حول الترتيبِ الإلكترونيِّ في المستوى الأرضيِّ لأيِّ ذرة، يجبُ معرفةُ مستوى طاقةِ أوربتالاتِها أولاً. بعد ذلك تُضافُ الإلكتروناتُ إلى هذه الأوربتالاتِ واحدًا تلوَ الآخر، ويتمُّ هذا عادةً باتباعِ ثلاثةِ مبادئَ أساسية. (تذكَّرْ، في المناسبة، أن الذرات لا تُبنى في الواقعِ من خلالِ إضافةِ الإلكتروناتِ والبروتوناتِ بهذه الطريقة).

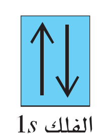
المبدأُ الأولُ هو **مبدأُ أوفباو** Aufbau principle الذي يختصُّ بنظامِ توزعِ الإلكتروناتِ في الأوربتالات. حسبَ مبدأِ أوفباو يحتلُّ الإلكترونُ الأوربتالَ ذا الطاقةِ الأدنى الذي يستطيعُ احتواءه. لذلك، تتوزعُ الإلكتروناتُ في مستوياتِ الطاقةِ الرئيسةِ وتحتِ المستوياتِ حسبَ ترتيبِ الطاقةِ المتزايدة، كما يظهرُ في **الشكل 14-4**. فالأوربتالُ الذي لديهِ أدنى طاقةٍ هو $1s$، يليه $2s$، ثم أوربتالاتُ $2p$. وابتداءً من مستوى الطاقةِ الرئيسِ الثالث $n = 3$ فإن طاقاتِ تحتِ المستوياتِ في المستوى الرئيسِ تبدأُ بالتداخل. فإذا نظرتَ، في **الشكل 14-4**، إلى تحتِ المستوى $4s$ تجدُهُ ذا طاقةٍ أقلَّ من تحتِ المستوى $3d$، لذلك فإن تحتَ المستوى $4s$ يمتلئُ قبلَ دخولِ أيِّ إلكترونٍ إلى تحتِ المستوى $3d$.

المبدأُ الثاني يعكسُ أهميةَ عددِ الكمِّ المغزليِّ الذي يتعلَّقُ بطريقةِ دورانِ الإلكترونِ حول نفسِه. فحسبَ **مبدأِ باولي للاستثناء** Pauli exclusion principle، لا يمكنُنا أن نجدَ إلكترونين للذرةِ نفسِها لهما أعدادُ الكمِّ الأربعةِ نفسُها. تشيرُ



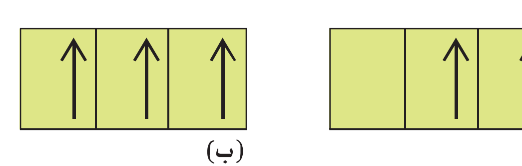

**الشكل 14-4** ترتيبُ ازديادِ الطاقةِ في تحتِ المستويات (محور السينات). كلُّ مستطيل يمثِّلُ أوربتالاً من أوربتالاتِ الذرة.

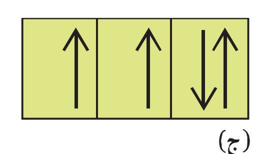
أعدادُ الكمِّ الرئيسِ والثانويِّ والمغناطيسيِّ إلى طاقةِ الأوربتالِ وشكلِهِ واتجاهِه. والقيمتانِ المتعاكستانِ لعددِ الكمِّ المغزليِّ تسمحانِ للإلكتروناتِ الموجودةِ في الأوبتالِ نفسِهِ بأن تدورَ حول نفسِها في اتجاهين متعاكسين (انظر **الشكل 4-15**).




**الشكل 4-15** حسبَ مبدأ باولي في الاستثناء، للأوربتالِ قدرةٌ على استيعابِ إلكترونين يدوران بشكلٍ متعاكس. وفي الترتيبِ الإلكترونيِّ الخاصِّ بذرةِ الهيليوم هنا، يمثلُ كلُّ سهمٍ إلكترونيَّ إحدى الذرّتين، ويمثلُ اتجاهُ السهمِ اتجاهَ دورانِ الإلكترون.

أما القاعدةُ الثالثةُ فتتطلَّبُ وضعَ الإلكتروناتِ غيرِ المزدوجةِ في أوربتالاتٍ ذريةٍ منفصلةٍ قدرَ الإمكان، ولكن في تحتِ المستوى نفسِه. بهذه الطريقة، نجعلُ التنافرَ بين الإلكتروناتِ في حدِّهِ الأدنى، فتتخذُ ترتيباتُ الإلكترونِ الطاقةَ الأدنى. وحسبَ **قاعدة هوند** Hund's rule لا يحدثُ تزاوجٌ بين إلكترونين في تحتِ مستوًى معيَّنٍ إلا بعد أن تُشغَلَ أوربتالاتُهُ فُرادى أولاً. في **الشكل 4-16**، مثالٌ على دخولِ الإلكتروناتِ فرادى إلى الأوربتالاتِ الثلاثةِ في تحتِ المستوى $p$. ولا يدخلُ الإلكترونُ الرابعُ إلى الأوربتالِ إلا بعد امتلاءِ جميعِ الأوربتالات.




**الشكل 4-16** يبيِّنُ كيف تُملأُ أوربتالاتُ تحتِ المستوى $p$ في مستوى الطاقةِ الرئيس: (أ) بإلكترونين، (ب) بثلاثةِ إلكترونات، (ج) بأربعةِ إلكترونات، حسبَ مبدأ هوند. إذا كان لديك ستةُ إلكتروناتٍ كيف توزِّعُ هذه الإلكتروناتُ في الأوربتالاتِ الخمسةِ لتحتِ المستوى $d$؟

## استعراضُ الترتيبِ الإلكترونيّ

هناكَ ثلاثُ طرقٍ للترميزِ الإلكترونيِّ تُستعملُ لتشيرَ إلى الترتيبِ الإلكترونيِّ في الذرة. اثنتانِ منها تُبحثانِ في القسمينِ اللاحقينِ لمعرفةِ الترتيبِ الإلكترونيِّ لذرّاتِ عناصرِ الدورةِ الأولى والثانيةِ من الجدولِ الدوريّ.

أما الترميزُ الثالثُ فينطبقُ غالبًا على الترتيبِ الإلكترونيِّ لذرّاتِ عناصرِ الدورةِ الثالثةِ، وذرّاتِ الدوراتِ الأطولِ في الجدولِ الدوريّ. في ذرةِ الهيدروجين الاعتيادية، يحتلُّ الإلكترونُ الأوربتالَ ذا الطاقةِ الأدنى، ويكونُ في إحدى حالتيهِ من الغزل. أما الهيليوم فله إلكترونانِ مزدوجانِ في الأوربتال $1s$.

### ترميزُ الأوربتال

في هذا الترميزِ يتمثلُ الأوربتالُ الذي لا يحتوي على أيِّ إلكترونٍ بخطّ: ــــ ، ويُكتَبُ اسمُ الأوربتالِ تحت الخطّ. والأوربتالُ المحتوي على إلكترونٍ واحدٍ يتمثلُ بـ: $\underline{\uparrow}$ ، أما الأوربتالُ الذي يحتوي على إلكترونين فيتمثلُ بـ $\underline{\uparrow\downarrow}$ . للدلالةِ على أن الإلكترونين مزدوجانِ ويغزلانِ باتجاهينِ متعاكسين. يُضافُ إلى ذلك عددُ الكمِّ الرئيسِ وحرفٌ يرمزُ لتحتِ المستوى. ومثالُ ذلك ترميزُ الأوربتالاتِ للهيدروجينِ والهيليوم:

$$\mathrm{H}\ \frac{\uparrow}{1s} \qquad \mathrm{He}\ \frac{\uparrow\downarrow}{1s}$$

## ترميزُ الترتيبِ الإلكتروني

يلغي هذا الترميزُ الخطوطَ والأسهمَ التي تُستخدم في ترميزِ الأوربتال. وعوضًا عن ذلك تُكتبُ أعدادُ الإلكتروناتِ الموجودةِ في تحتِ المستوياتِ بإضافةِ عددٍ فوقيٍّ إلى حرفِ تحتِ المستوى. فمثلاً، يُكتب الترتيبُ الإلكترونيُّ للهيدروجين $1s^1$، حيثُ يشيرُ العددُ الفوقيُّ 1 إلى وجودِ إلكترونٍ واحدٍ فقط في الأوربتال $1s$. أما بالنسبةِ للهيليومِ فيُكتبُ الترتيبُ الإلكترونيُّ $1s^2$، حيث يشيرُ العددُ الفوقيُّ 2 إلى وجودِ إلكترونين في أوربتالِ الهيليوم $1s$.

**مسألةٌ نموذجية 1-4**

**الترتيبُ الإلكترونيُّ للبورون (B) هو: $1s^2\,2s^2\,2p^1$. ما عددُ الإلكتروناتِ الموجودةِ في ذرةِ البورون؟ ما العددُ الذرّيُّ لذرةِ البورون؟ اكتبْ ترميزَ الأوربتالِ للبورون.**

**الحلّ**

عددُ الإلكتروناتِ في ذرةِ البورون يساوي مجموعَ الأعدادِ الفوقيةِ من الترميزِ الإلكترونيّ، (أي $2 + 2 + 1 = 5$ إلكترونات). في الذرةِ المتعادلةِ يكونُ عددُ البروتوناتِ مساويًا لعددِ الإلكترونات. بهذا نعرفُ أن للبورون (B) خمسةَ بروتونات، وهو أيضًا العددُ الذرّيُّ لهذا العنصر. لكتابةِ ترميزِ الأوربتالِ نخطُّ أولاً خطوطًا تمثِّلُ الأوربتالات.

| ___ | ___ | ___ | ___ | ___ |
|---|---|---|---|---|
| $1s$ | $2s$ | $2p_x$ | $2p_y$ | $2p_z$ |

ثم نضيفُ أسهمًا للدلالةِ على مواقعِ الإلكترونات. يحتلُّ الإلكترونانِ الأولانِ مستوى الطاقةِ الرئيسَ الأول $n = 1$ ويملآنِ الأوربتال $1s$.

| ↑↓ | ___ | ___ | ___ | ___ |
|---|---|---|---|---|
| $1s$ | $2s$ | $2p_x$ | $2p_y$ | $2p_z$ |

أما الإلكتروناتُ الثلاثةُ اللاحقةُ فإنها تحتلُّ مستوى الطاقةِ الرئيسَ الثاني $n = 2$. وحسبَ مبدأ أوفباو، يحتلُّ اثنانِ منهما تحتَ المستوى $2s$، أما الإلكترونُ الثالثُ فيحتلُّ أحد أوربتالات $p$.

| ↑↓ | ↑↓ | ↑ | ___ | ___ |
|---|---|---|---|---|
| $1s$ | $2s$ | $2p_x$ | $2p_y$ | $2p_z$ |

**تمارينُ تطبيقية**

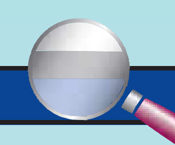
**1.** الترميزُ الإلكترونيُّ للنيتروجين هو: $1s^22s^22p^3$. ما عددُ الإلكتروناتِ في ذرةِ النيتروجين؟ ما العددُ الذريُّ للنيتروجين؟ اكتبْ ترميزَ الأوربتالِ لذرةِ النيتروجين.

**الجواب:** 7، 7، 

| ↑↓ | ↑↓ | ↑ | ↑ | ↑ |
|---|---|---|---|---|
| $1s$ | $2s$ | $2p_x$ | $2p_y$ | $2p_z$ |

**2.** الترميزُ الإلكترونيُّ للفلور (F) هو: $1s^22s^22p^5$. ما العددُ الذريُّ للفلور؟ ما عددُ الأوربتالاتِ المملوءة؟ ما عددُ الإلكتروناتِ غيرِ المزدوجةِ في ذرةِ الفلور؟

**الجواب:** 9، 2، 1





# عصرُ نوبل

## نبذةٌ تأريخية

**ابتدأ علمُ الكيمياءِ بالارتقاءِ في نهايةِ القرنِ التاسعَ عشرَ عندما وضعَ المؤتمرُ الدوليُّ الأولُ للكيمياء، سنةَ 1860، الملامحَ الأولى لحقولِ الكيمياء. وعندما وضعَ ديمتري مندلييف جدولَهُ الدوريَّ للعناصر، أضافَ للكيميائيين في عمومِ العالم أسلوبًا مبرمجًا لفهمِ وحداتِ بناءِ المادة. ومع ذلك، كان كثيرٌ من الاكتشافاتِ المهمةِ لا يزالُ في الطريق، منها اكتشافُ عائلةِ الغازاتِ النبيلةِ النادرة، التي لم يُعرَفْ لها شبيهٌ في ذلك الوقت.**

### إشكالية

صادفتِ الفيزيائيَّ البريطانيَّ اللورد رايلي، سنةَ 1888، مفارقةٌ صغيرة، لكنها جوهرية، في تفسيرِ نتائجِ إحدى تجاربِه. ففي محاولةٍ منه لتعيينِ الكتلةِ الذرّيةِ للنيتروجين، قامَ بقياسِ كثافةِ الغازِ في عددٍ من العيِّناتِ المحضَّرةِ بطرقٍ مختلفة. وظهرَ للنيتروجينِ في هذه العيِّناتِ كثافاتٌ متشابهة، لكنها كانتْ عمومًا أخفَّ من كثافةِ النيتروجينِ المفصولِ مباشرةً عن الهواءِ بنسبةِ عشرةٍ في المائة. وقد اعتُبِرَ الهواءُ حينئذٍ مزيجًا من النيتروجينِ والأكسجينِ وبخارِ الماء وثاني أكسيدِ الكربون.

كان رايلي محتارًا في تفسيرِ اكتشافِهِ هذا، مما اضطرَّهُ أخيرًا إلى نشرِ رجاءٍ في مجلةِ «الطبيعة» (Nature)، سنةَ 1892، طلبَ فيه من زملائِهِ تفسيرًا لهذه الظاهرة. استلم رايلي بعد شهرٍ من ذلك جوابًا من كيميائيٍّ إنجليزيٍّ اسمُهُ وليام رامزي عبَّر فيه هو الآخرُ عن دهشتِهِ من الاختلافِ في كثافةِ

SEPTEMBER 29, 1892 — *NATURE*

*LETTERS TO THE EDITOR.*

[*The Editor does not hold himself responsible for opinions expressed by his correspondents. Neither can he undertake to return, or to correspond with the writers of, rejected manuscripts intended for this or any other part of* NATURE. *No notice is taken of anonymous communications.*]

**Density of Nitrogen.**

I AM much puzzled by some recent results as to the density of nitrogen, and shall be obliged if any of your chemical readers can offer suggestions as to the cause. According to two methods of preparation I obtain quite distinct values. The relative difference, amounting to about $\frac{1}{1000}$ part, is small in itself; but it lies entirely outside the errors of experiment, and can only be attributed to a variation in the character of the gas...

Is it possible that the difference is independent of impurity, the nitrogen itself being to some extent in a different (dissociated) state?...

RAYLEIGH.

Terling Place, Witham, September 24.

نسخةٌ من رسالةِ لورد رايلي
كما نشرت في مجلة «الطبيعة» عام 1892

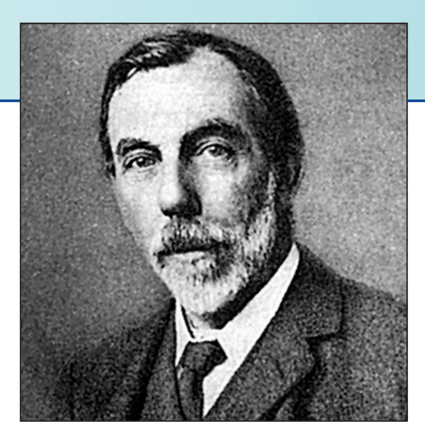
النيتروجينِ المحضَّرِ كيميائيًّا عن نيتروجينِ الهواءِ الطبيعيّ. قرر رايلي عندئذٍ أن يُطلِعَ الجمعيةَ الملكيةَ للكيمياءِ على الأمر، فذيَّلَ رسالتَهُ بالملاحظةِ المتحفظةِ التالية:

> حتى تتمَّ الإجابةُ الشافيةُ عن الأسئلةِ التي يطرحُها هذا الاكتشاف، يجبُ مواجهةُ قيمِ كثافةِ النيتروجينِ هذه بدرجةٍ من التحفُّظ.

### خطوةُ كيميائيّ

أقدمَ رامزي بعد حصولهِ على موافقةِ رايلي على إجراءِ تجربةٍ أزال فيها المكوناتِ المعروفةَ كافةً من عيِّنةٍ من الهواء، وقامَ بتحليلِ ما تبقى منها، فقام أولاً بتسخينِ المغنيسيوم لإزالةِ النيتروجين الموجودِ في العينة حيث تكوّن نتريدُ المغنيسيوم، ثم أزالَ الأكسجينَ وبخارَ الماءِ وثانيَ أكسيدِ الكربون. وما تبقى كانَ كميةً صغيرةً من غازٍ غريب. عندما حاولَ رامزي أن يفاعلَ هذا الغازَ مع موادَّ نشطةٍ كيميائيًّا، كالهيدروجين والصوديوم والصودا الكاوية، لم يتفاعل. رأى رامزي أن يطلقَ على هذا المكوَّنِ الجوّيِّ الجديدِ اسمَ أرجون (ومعناه باللاتينية: خامل):

> استحقَّ هذا الغازُ الاسمَ أرجون فعلاً لكونهِ الجسمَ الأغربَ من حيث انخفاضُ نشاطيتِه.



سنة 1893، عزلَ الكيميائيُّ الاسكتلنديُّ وليام رامزي أحدَ مكوناتِ الهواءِ الجويّ غيرِ المعروفة في ذلك الوقت.

## مشاكلُ دوريّة

كان كلٌّ من رايلي ورامزي على درجةٍ من اليقين بأنهما عثرا على عنصرٍ جديد. إلا أن هذا الاعتقادَ بحدِّ ذاتِه خلقَ لهما مشكلة. فقد أشارت حساباتُهما إلى أن للأرجون كتلةً ذريةً تقتربُ من 40، ومع ذلك لم يكن لهذا العنصرِ مكانٌ في الجدولِ الدوريِّ الذي اكتُشفَ عامَ 1894. من ناحيةٍ أخرى، كان هناك عنصرانِ تقتربُ كتلتُهما الذريةُ من كتلةِ الأرجون، هما الكلور والبوتاسيوم. ومما زادَ الطينَ بِلّةً أن الخواصَّ الكيميائيةَ لعائلتَيْ هذينِ العنصرينِ مختلفةٌ تمامًا عن خواصِّ هذا الغازِ الغريب.

أعادَ رامزي النظرَ في مسألةِ خمولِ الأرجون من خلالِ مفاهيمِ مندلييف التي بنى بموجبِها جدولَهُ الدوريّ، خصوصًا موضوعَ التكافؤِ أو عددِ الذرّاتِ التي يرتبطُ بها العنصرُ لتكوينِ المركَّب. ولدى فشلِهِ في جعلِ الأرجون مركَّبًا اعتبرَ أن تكافؤَهُ يساوي صفرًا. وحيث أن تكافؤَ العناصرِ في عائلتَي الكلور والبوتاسيوم يساوي واحدًا، افترضَ رامزي أن الأرجون يقعُ في الجدولِ الدوريِّ بين هذينِ العنصرين.

جاء هذا في فحوى رسالةٍ كتبَها إلى رايلي في أيار/مايو 1894، حيث قال:

«هل خطرَ لك أن هناك متسعًا لعناصرَ غازيّةٍ تقعُ في نهايةِ العمودِ الأولِ للجدولِ الدوريّ؟ يجبُ أن تكونَ كثافةُ مثلِ هذه العناصرِ حواليَّ 20، وإن 0.8 % (حواليَّ 1/20) من نيتروجينِ الهواءِ يمكنُهُ رفعُ كثافةِ غازِ النيتروجينِ النقيِّ الكيميائيّ بنسبةِ = 231:230».

كانت فكرةُ رامزي بوضعِ الأرجون في موقعٍ جديدٍ في الجدولِ الدوريِّ بين عائلتَي الكلور والبوتاسيوم صحيحة. وبهذا أصبحَ، بحقٍّ، الغازُ الذي اكتشفَهُ رامزي من عائلاتِ العناصرِ التي لم تكنْ معروفة.

## جيرانٌ جُدد

فصَلَ رامزي سنةَ 1895 غازًا خفيفًا وخاملاً من معدنٍ اسمُهُ كليفايت (cleveite). أظهرتِ التحليلاتُ الفيزيائيةُ أن هذا الغازَ شبيهٌ تمامًا بغازٍ آخرَ شُخِّصَ وجودُهُ في الشمس عامَ 1868، هو الهيليوم. والهيليوم هو العنصرُ الثاني الذي تكافؤُهُ صفر. وقد تمَّ اكتشافُهُ على سطحِ الأرض. أثارَ اكتشافُهُ انتباهَ الكيميائيينَ إلى حقيقةٍ هي أن الجدولَ الدوريَّ ينقصُهُ عمودٌ كاملٌ من العناصر.

وبعد ثلاثِ سنواتٍ من ذلك، شخَّصَ رامزي ومساعدُهُ موريس ترافيرس ثلاثةَ غازاتٍ خاملةٍ أخرى موجودةٍ في الجوّ، هي: النيون (ومعناهُ في اليونانيةِ الجديد)، والكريبتون (المخفي)، والزينون (الغريب)، وهو آخرُ عنصرٍ يتمُّ اكتشافُهُ من عائلةِ العناصرِ الخاملةِ المعروفةِ اليومَ بالغازاتِ النبيلة.

نالَ رامزي بهذا الاكتشافِ جائزةَ نوبل عامَ 1904.

| الدورات / المجموعات | III b | IV b | V b | VI b | VII b | VIII b | I b | II b | III a | IV a | V a | VI a | VII a | 0 | I a | II a |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | H | He |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | Li | Be |
| 3 | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne | Na | Mg |
| 4 | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar | K | Ca |
| 5 | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe Co Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | Rb | Sr |
| 6 | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru Rh Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | Cs | Ba |
| 7 | La | Hf | Ta | W | Re | Os Ir Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn | Fr | Ra |
| 8 | Ac | | | | | | | | | | | | | | | |
| | العناصر الانتقالية | | | | | | | | العناصر الرئيسة | | | | | | | |

إحدى النسخِ المعدلةِ من الجدولِ الدوريِّ كما ظهرتْ بعد اكتشافِ الغازاتِ «النبيلة». إن إدخالَ عناصرِ المجموعةِ بين 1 و 2 في أقصى اليمينِ يُظهرُ بوضوحٍ كيف تصلحُ الغازاتُ النبيلةُ لأخذِ مواقعِها بين عائلةِ الكلور وعائلةِ البوتاسيوم. يمثلُ «0» فوقَ عائلةِ الغازِ النبيلِ التكافؤَ صفرًا الذي تتمتعُ به الغازات.

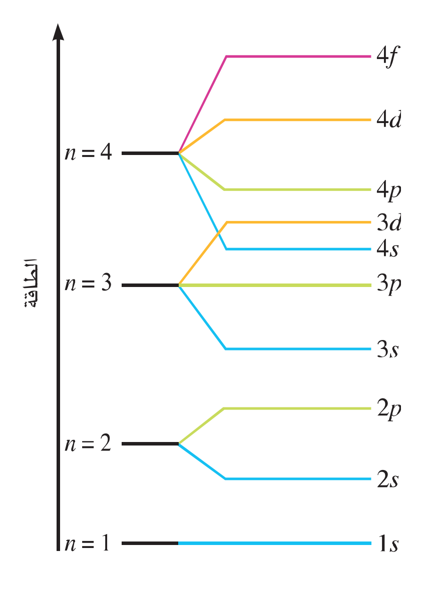
## عناصرُ الدورةِ الثانية

تشغَلُ إلكتروناتُ عنصرَيِ الدورةِ الأولى من الجدولِ الدوريّ (الهيدروجين والهيليوم) مستوى الطاقةِ الرئيسَ الأول. وتَظهرُ أشكالُ الترتيبِ الإلكترونيِّ الأرضيِّ لعناصرِ الدورةِ الثانيةِ من الجدولِ الدوريِّ في **الجدول 3-4**، حيث يوضِّحُ تطبيقُ مبدأ أوفباو ومبدأ باولي في الاستثناءِ وقاعدةِ هوند في رسمِ الترتيبِ الإلكترونيِّ لهذه العناصر. يُظهرُ **الشكل 17-4** أولَ أربعةِ مستوياتِ طاقةٍ رئيسةٍ حسبَ ترتيبِ تزايدِ الطاقةِ لتطبيقِ مبدأ أوفباو.

وفقًا لمبدأ أوفباو، تبدأُ الإلكتروناتُ في الدورةِ الثانيةِ للجدولِ الدوريِّ بشغلِ تحتِ المستوى $2s$ في المستوى الرئيسِ الثاني، بعد أن يكتملَ ملءُ الأوربتالِ $1s$ بالإلكترونات (عددُها اثنان وهو العددُ الأقصى للإلكتروناتِ في عناصرِ الدورةِ الأولى من الجدولِ الدوريّ). لذلك فإن الإلكترونَ الثالثَ لأولِ عنصرٍ من الدورةِ الثانيةِ في الجدولِ الدوريِّ يدخلُ إلى تحتِ المستوى $s$ من مستوى الطاقةِ الرئيسِ الثاني. وعليه، فالترتيبُ الإلكترونيُّ لذرةِ الليثيوم (Li) هو: $1s^22s^1$، ويكونُ الإلكترونُ الموجودُ في الأوربتال $2s$ في أعلى أو أبعدِ مستوى طاقة. **وأعلى مستوى طاقة** highest occupied level يشغلُهُ الإلكترونُ هو أبعدُ مستوى طاقةٍ رئيسٍ يدخلُهُ الإلكترون، ولديه أعلى عددِ كمّ.

بناءً على ذلك يصبحُ إلكترونا الليثيوم في تحتِ المستوى $1s$ خارجَ مستوى الطاقةِ الرئيسِ الأبعد، ويصبحانِ من **إلكتروناتِ طبقةٍ داخلية** inner-shell electrons، أي أنهما لا يحتلّانِ أعلى مستوى طاقة.

أما الإلكترونُ الرابعُ في ذرةِ البريليوم (Be)، فيُكمِلُ الازدواجَ مع إلكترونٍ آخرَ في تحتِ المستوى $2s$، لأن هذا المستوى لديه طاقةٌ أقلُّ من تحت المستوى $2p$. فعندما يمتلئُ تحتُ المستوى $2s$ بالإلكتروناتِ تبدأ الإلكتروناتُ بملءِ تحتِ المستوى $2p$ الذي لديه ثلاثةُ أوربتالاتٍ فارغةٍ لها الطاقةُ نفسُها. ويمكنُكَ أن تلاحِظَ هنا أن قاعدةَ هوند قد طبِّقت، وكما هو موضَّحٌ، في ترميزِ الأوربتالاتِ في **الجدول 3-4**. فإذا أخذنا ذرةَ البورون (B)، نجدُ أن أحدَ الأوربتالاتِ الثلاثةِ في $2p$ قد شَغَلَهُ إلكترون واحد. أما في




**الشكل 17-4** اتجاهُ السهمِ يعرضُ أولَ أربعةِ مستوياتٍ للطاقةِ الرئيسةِ مرتّبةً تبعًا لازديادِ طاقتِها، تطبيقًا لمبدأ أوفباو.

**الجدول 3-4** الترتيبُ الإلكترونيُّ في ذرّاتِ عناصرِ الدورةِ الثانيةِ مبيّنًا ترميز الفلك

| الاسم | الرمز | ترميزُ الأوربتال 2p | | | 2s | 1s | ترميزُ الترتيب الإلكتروني |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ليثيوم | Li | — | — | — | ↑ | ↑↓ | $1s^22s^1$ |
| بريليوم | Be | — | — | — | ↑↓ | ↑↓ | $1s^22s^2$ |
| بورون | B | — | — | ↑ | ↑↓ | ↑↓ | $1s^22s^22p^1$ |
| كربون | C | — | ↑ | ↑ | ↑↓ | ↑↓ | $1s^22s^22p^2$ |
| نيتروجين | N | ↑ | ↑ | ↑ | ↑↓ | ↑↓ | $1s^22s^22p^3$ |
| أكسجين | O | ↑ | ↑ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | $1s^22s^22p^4$ |
| فلور | F | ↑ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | $1s^22s^22p^5$ |
| نيون | Ne | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | ↑↓ | $1s^22s^22p^6$ |

ذرةِ الكربون (C)، التي لديها 6 إلكترونات، فإن اثنين من أوربتالاتِ $2p$ شغلَ كلاًّ منهما إلكترونٌ واحد. وبالنسبةِ إلى ذرةِ النيتروجين (N) فإن الأوربتالاتِ الثلاثةَ من $2p$ قد شغَلَ كلاًّ منها إلكترونٌ واحد. لكن بالنسبةِ إلى ذرةِ الأكسجين (O) نرى أنه، بحسب أوفباو، يدخلُ الإلكترونُ الأخيرُ إلى أحدِ أوربتالاتِ $2p$ مزدوجًا مع الإلكترونِ الموجودِ سابقًا في الأوربتال. ويصبحُ الترتيبُ الإلكترونيُّ للأكسجين $1s^22s^22p^4$. أما بالنسبةِ إلى ذرةِ الفلور (F) فإن اثنين من أوربتالاتِ $2p$ يشغَلُ كُلاًّ منهما زوجٌ من الإلكترونات، والترتيبُ الإلكترونيُّ هو: $1s^22s^22p^5$. أما بالنسبةِ إلى العنصرِ الأخيرِ من الدورةِ الثانية، النيون (Ne)، فنجدُ أن مستوى الطاقةِ الرئيسَ الثانيَ قد امتلأ بالعددِ الأقصى من الإلكترونات، وهو ثمانية، وهذه التركيبةُ الإلكترونيةُ تُدعى قاعدةَ الثمانيَةِ (octet). لاحظْ أن النيون هو آخرُ عنصرٍ في الدورةِ الثانيةِ في الجدولِ الدوريّ.

## عناصرُ الدورةِ الثالثة

بعد أن تَملأَ الإلكتروناتُ مستوى الطاقةِ الرئيسَ الثانيَ بالعددِ الأقصى من الإلكترونات، وهو ثمانية، تبدأُ الإلكتروناتُ بدخولِ مستوى الطاقةِ الرئيسِ الثالث $n = 3$. لذلك فإن ذرةَ الصوديوم (Na) لديها الترتيبُ الإلكترونيّ: $1s^22s^22p^63s^1$. أما إذا قارنّا ترتيبَ الإلكتروناتِ في ذرةِ الصوديوم وذرةِ النيون (Ne)، كما يظهرُ في **الجدول 3-4**، فإننا سنلاحظُ أن الإلكتروناتِ العشَرةَ الأولى من ذرةِ الصوديوم لديها الترتيبُ الإلكترونيُّ نفسُهُ كما في ذرةِ النيون، وهو: $1s^22s^22p^6$. وفي الحقيقة، إن أولَ عشرةِ إلكتروناتٍ في ذرةِ كلِّ عنصرٍ من عناصرِ الدورةِ الثالثةِ تماثلُ في ترتيبها الإلكترونيِّ للترتيبَ الإلكترونيَّ لذرةِ النيون. هذا التطابقُ يسمحُ لنا باستخدامِ ترميزٍ مختصرٍ للترتيبِ الإلكترونيِّ لذرّاتِ عناصرِ الدورةِ الثالثةِ من الجدولِ الدوريّ. هذا الترميزُ المختصرُ يُسمّى ترميزَ الغازِ النبيل.

### ترميزُ الغازِ النبيل

النيون عنصرٌ من عناصرِ الزمرةِ 18 من الجدولِ الدوريّ. عناصرُ الزمرةِ 18 في الجدولِ الدوريّ (هيليوم، نيون، أرجون، كريبتون، زينون، رادون) تُدعى **الغازاتِ النبيلة** noble-gases. ولتبسيطِ الترتيبِ الإلكترونيِّ لذرةِ الصوديوم، يُستخدمُ رمزُ النيون

**الجدول 4-4** الترتيبُ الإلكترونيُّ لذرّاتِ عناصرِ الدورةِ الثالثةِ من الجدولِ الدوريّ

| الاسم | الرمز | العددُ الذرّيّ | عددُ الإلكترونات في تحتِ المستويات 3p | 3s | 2p | 2s | 1s | ترميزُ الغازِ النبيل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| صوديوم | Na | 11 | | 1 | 6 | 2 | 2 | $[Ne]3s^1$ |
| مغنيسيوم | Mg | 12 | | 2 | 6 | 2 | 2 | $[Ne]3s^2$ |
| ألمنيوم | Al | 13 | 1 | 2 | 6 | 2 | 2 | $[Ne]3s^23p^1$ |
| سيليكون | Si | 14 | 2 | 2 | 6 | 2 | 2 | $[Ne]3s^23p^2$ |
| فوسفور | P | 15 | 3 | 2 | 6 | 2 | 2 | $[Ne]3s^23p^3$ |
| كبريت | S | 16 | 4 | 2 | 6 | 2 | 2 | $[Ne]3s^23p^4$ |
| كلور | Cl | 17 | 5 | 2 | 6 | 2 | 2 | $[Ne]3s^23p^5$ |
| أرجون | Ar | 18 | 6 | 2 | 6 | 2 | 2 | $[Ne]3s^23p^6$ |

الذي يُحصَرُ بين قوسين مربّعين [Ne] ليمثِّل الترتيبَ الإلكترونيَّ الكاملَ للنيون: $[Ne] = 1s^22s^22p^6$. بهذه الخطوةِ المشتركةِ نكمِلُ توصيفَ الترتيبِ الإلكترونيِّ للصوديوم بـ $[Ne]\ 3s^1$.

هذا الترتيبُ يُدعى ترميزَ الغازِ النبيلِ للصوديوم. لاحظِ **الجدول 4-4** حيث يُعطى **الترتيبُ الإلكترونيُّ بترميزِ الغازِ النبيل** noble-gas configuration لذرّاتِ عناصرِ الدورةِ الثالثةِ من الجدولِ الدوريّ. العنصرُ الأخيرُ في الدورةِ الثالثةِ من الجدولِ الدوريِّ هو الغازُ النبيلُ أرجون (Ar). للنيون ثمانيةُ إلكتروناتٍ في أبعدِ مستوى طاقةٍ رئيس $[Ne]\ 3s^23p^6$، وللأرجون (Ar) كذلك عددٌ مماثلٌ في أبعدِ مستوى طاقة. في الواقع، كلُّ غازٍ نبيل، عدا الهيليوم (He)، عنده ثمانيةُ إلكتروناتٍ في أبعدِ مستوى طاقة. الترميزُ بالغازِ النبيلِ هو ترميزٌ، في معظمِ الحالات، يملأ مستوى الطاقةِ الرئيسَ الخارجيَّ كليًّا بثمانيةِ إلكترونات.

## عناصرُ الدورةِ الرابعة

الترتيبُ الإلكترونيُّ لذرّاتِ عناصرِ الدورةِ الرابعةِ ($n = 4$) من الجدولِ الدوريِّ مفصَّلٌ في **الجدول 5-4**. تبدأُ هذه الدورةُ بملءِ تحتِ المستوى الداخليّ $4s$، وبالطريقةِ المماثلةِ لغازِ الأرجون. أولُ عنصرٍ في الدورةِ الرابعةِ هو البوتاسيوم (K)، وترتيبُهُ الإلكترونيُّ $[Ar]4s^1$. إذا استرجعنا الترتيبَ الإلكترونيَّ لذرةِ الأرجون، وهو $1s^22s^22p^63s^23p^6$،

**الجدول 5-4** الترتيبُ الإلكترونيُّ لذرّاتِ عناصرِ الدورةِ الرابعةِ من الجدولِ الدوريّ

| الاسم | الرمز | العددُ الذرّي | عددُ الإلكتروناتِ في تحتِ المستوياتِ الواقعةِ فوقَ $2p$: $4p$ | $4s$ | $3d$ | $3p$ | $3s$ | ترميزُ الغازِ النبيل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بوتاسيوم | K | 19 | | 1 | | 6 | 2 | $^*[Ar]4s^1$ |
| كالسيوم | Ca | 20 | | 2 | | 6 | 2 | $[Ar]4s^2$ |
| سكانديوم | Sc | 21 | | 2 | 1 | 6 | 2 | $[Ar]3d^14s^2$ |
| تيتانيوم | Ti | 22 | | 2 | 2 | 6 | 2 | $[Ar]3d^24s^2$ |
| فناديوم | V | 23 | | 2 | 3 | 6 | 2 | $[Ar]3d^34s^2$ |
| كروم | Cr | 24 | | 1 | 5 | 6 | 2 | $[Ar]3d^54s^1$ |
| منجنيز | Mn | 25 | | 2 | 5 | 6 | 2 | $[Ar]3d^54s^2$ |
| حديد | Fe | 26 | | 2 | 6 | 6 | 2 | $[Ar]3d^64s^2$ |
| كوبلت | Co | 27 | | 2 | 7 | 6 | 2 | $[Ar]3d^74s^2$ |
| نيكل | Ni | 28 | | 2 | 8 | 6 | 2 | $[Ar]3d^84s^2$ |
| نحاس | Cu | 29 | | 1 | 10 | 6 | 2 | $[Ar]3d^{10}4s^1$ |
| خارصين | Zn | 30 | | 2 | 10 | 6 | 2 | $[Ar]3d^{10}4s^2$ |
| جاليوم | Ga | 31 | 1 | 2 | 10 | 6 | 2 | $[Ar]3d^{10}4s^24p^1$ |
| جيرمانيوم | Ge | 32 | 2 | 2 | 10 | 6 | 2 | $[Ar]3d^{10}4s^24p^2$ |
| زرنيخ | As | 33 | 3 | 2 | 10 | 6 | 2 | $[Ar]3d^{10}4s^24p^3$ |
| سيلينيوم | Se | 34 | 4 | 2 | 10 | 6 | 2 | $[Ar]3d^{10}4s^24p^4$ |
| بروم | Br | 35 | 5 | 2 | 10 | 6 | 2 | $[Ar]3d^{10}4s^24p^5$ |
| كريبتون | Kr | 36 | 6 | 2 | 10 | 6 | 2 | $[Ar]3d^{10}4s^24p^6$ |

$^*[Ar] = 1s^22s^22p^63s^23p^6$

يصبحُ الترتيبُ الإلكترونيُّ الكاملُ للبوتاسيوم هو التالي: $1s^22s^22p^63s^23p^64s^1$ أو $[Ar]4s^1$. العنصرُ الثاني في الدورةِ الرابعةِ هو الكالسيوم (Ca)، وترتيبُهُ الإلكترونيّ $[Ar]4s^2$.

وعندما يمتلىءُ تحتُ المستوى $4s$ كليًّا تبدأُ الإلكتروناتُ بدخولِ تحتِ المستويين $4p$ و $3d$. يُظهر **الشكلُ 4-17** (الموجودُ في الصفحة 104) أن تحتَ المستوى $3d$ لديه طاقةٌ أقلُّ من تحتِ المستوى $4p$. بناءً عليه، الأوربتالاتُ الخمسةُ لتحتِ المستوى $3d$ هي التاليةُ المرشَّحةُ لملئِها، وهي تستوعبُ عشرةَ إلكتروناتٍ فقط. وتدخلُ الإلكتروناتُ أوربتالاتِ تحتِ المستوى $3d$ تباعًا في العناصرِ العشرةِ التي تتألفُ منها الدورةُ الرابعةُ في الجدولِ الدوريّ، وهي من السكانديوم (Sc) (وعددُهُ الذريُّ 21) إلى الخارصين (zn) (وعددُهُ الذريُّ 30) (انظرِ **الجدول 4-5**).

الترتيبُ الإلكترونيُّ للسكانديوم (Sc) هو $[Ar]3d^14s^2$، وللتيتانيوم (Ti) هو $[Ar]3d^24s^2$. أما الفناديوم (V) فترتيبُهُ الإلكترونيُّ $[Ar]3d^34s^2$. حسبَ قاعدةِ هوند، دخلت حتى الآنَ ثلاثةُ إلكتروناتٍ ذاتِ وضعيةِ غزلٍ متماثلةٍ ثلاثةً من أوربتالاتِ تحتِ المستوى $d$.

المفاجأةُ هي في الترتيبِ الإلكترونيِّ لعنصرِ الكروم (Cr)، فهو $[Ar]\ 3d^54s^1$. هنا لم يكتفِ الإلكترونُ المضافُ بالدخولِ إلى الأوربتالِ الرابعِ من أوربتالاتِ تحتِ المستوى $3d$ فقط، بل تحرَّك إلكترونٌ أيضًا من الأوربتالِ $4s$ ودخلَ الأوربتالَ الخامسَ من أوربتالاتِ تحتِ المستوى $3d$، تاركًا أوربتالَ $4s$ ليشغَلَهُ إلكترونٌ واحدٌ فقط. هذا الترتيبُ هو عكسُ مبدأ أوفباو.

إن الترتيب $[Ar]3d^54s^1$ هو، في الحقيقة، أقلُّ طاقةً من الترتيبِ $[Ar]3d^44s^2$. أما الكرومُ الذي يمتلكُ 6 أوربتالاتٍ خارجيةٍ وعددًا من الإلكتروناتِ غيرِ المزدوجة، فهو أكثرُ استقرارًا بهذا الترتيب، مقارنةً بحالةِ احتوائِهِ على 4 إلكتروناتٍ غيرِ مزدوجةٍ في الأوربتالِ $3d$ وإجبارِهِ إلكترونين ليزدوجا في الأوربتال $4s$.

من ناحيةٍ أخرى، فإن للتنجستن (W)، الذي ينتمي إلى زمرةِ الكرومِ نفسِها، 4 إلكتروناتٍ في أوربتالاتِ $5d$ وإلكترونينِ مزدوجينِ في الأوربتالِ $6s$. بهذا يكونُ التنجستن صاحبَ الترتيبِ الأكثرِ استقرارًا. ولسوءِ الحظّ، لا توجدُ تفسيراتٌ سهلةٌ لهذا الشذوذِ عن النظامِ المثاليِّ الموضّحِ في **الشكل 4-17**.

وفيما يخُصُّ المنغنيز (Mn)، فهو ذو الترتيبِ الإلكترونيّ $[Ar]3d^54s^2$، حيث يذهبُ الإلكترونُ المضافُ إلى الأوربتالِ $4s$ ليملأَهُ تمامًا، فيما يبقى تحتُ المستوى $3d$ نصفَ ممتلئٍ بالإلكترونات. ومع العنصرِ التالي تبدأُ الإلكتروناتُ في الازدواجِ في أوربتالاتِ تحتِ المستوى $3d$. فالحديدُ (Fe)، له الترتيبُ الإلكترونيّ $[Ar]3d^64s^2$. والكوبلت (Co) ترتيبُه $[Ar]3d^74s^2$، والنيكل (Ni) ترتيبُه $[Ar]3d^84s^2$. والعنصرُ التالي هو النحاسُ (Cu) الذي يتحركُ فيه الإلكترون من الأوربتالِ $4s$ ليزدوجَ مع الإلكترون في الأوربتالِ الخامس من أوربتالاتِ تحتِ المستوى $3d$، فينتجُ الترتيبُ الإلكترونيّ $[Ar]3d^{10}4s^1$، وهو الترتيبُ ذو الطاقةِ الأدنى للنحاس (Cu).

أما عنصرُ الخارصين (Zn) فيُملأُ فيه الأوربتالُ $4s$ كليًّا ليعطيَ الترتيبَ الإلكترونيّ $[Ar]3d^{10}4s^2$. وهكذا، في ذرّاتِ العناصرِ الستةِ القادمة، تضافُ الإلكترونات، استنادًا إلى قاعدةِ هوند، الواحدُ تلوَ الآخرِ إلى أوربتالاتِ $4p$ الثلاثة، ويضافُ إلكترونٌ واحدٌ إلى كلٍّ من أوربتالاتِ $4p$ الثلاثةِ قبل أن تزدوجَ الإلكتروناتُ في أيِّ أوربتالٍ من أوربتالاتِ $4p$.

# عناصرُ الدورةِ الخامسة

تمتلىءُ تحتُ المستوياتِ بإلكتروناتِ العناصرِ الثمانيةَ عشرةَ (18) المكوِّنةِ للدورةِ الخامسةِ من الجدولِ الدوريّ وبطريقةٍ مماثلةٍ لعناصرِ الدورةِ الرابعة، لكنها تبدأُ بملءِ تحتِ المستوى $5s$ بدلاً من $4s$.

تدخلُ الإلكتروناتُ تباعًا، أوّلاً إلى $5s$ ثم إلى $4d$ وأخيرًا إلى $5p$. هذا الترتيبُ الإلكترونيُّ موضَّحٌ في **الجدول 4-6**. ونجدُ أحيانًا اختلافاتٍ عن الترتيبِ المتوقَّع، إلا أن هذه الحالاتِ تختلفُ عن تلك التي لاحظناها في عناصرِ الدورةِ الرابعة. وفي كلِّ حالة، يأخذُ الترتيبُ المفضلُ أقلَّ مستوى طاقةٍ ممكنًا.

**الجدول 4-6 الترتيبُ الإلكترونيُّ لذرّاتِ عناصرِ الدورةِ الخامسةِ من الجدولِ الدوريّ**

| الاسم | الرمز | العدد الذرّي | عددُ الإلكترونات في تحتِ المستوياتِ الواقعةِ فوقَ $3d$ | | | | | ترميزُ الغازِ النبيل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $5p$ | $5s$ | $4d$ | $4p$ | $4s$ | |
| ربيديوم | Rb | 37 | | 1 | | 6 | 2 | *$[Kr]5s^1$ |
| سترونشيوم | Sr | 38 | | 2 | | 6 | 2 | $[Kr]5s^2$ |
| يتريوم | Y | 39 | | 2 | 1 | 6 | 2 | $[Kr]4d^15s^2$ |
| زركونيوم | Zr | 4 | | 2 | 2 | 6 | 2 | $[Kr]4d^25s^2$ |
| نيوبيوم | Nb | 41 | | 1 | 4 | 6 | 2 | $[Kr]4d^45s^1$ |
| موليبدينم | Mo | 42 | | 1 | 5 | 6 | 2 | $[Kr]4d^55s^1$ |
| تكنيشوم | Tc | 43 | | 1 | 6 | 6 | 2 | $[Kr]4d^65s^1$ |
| روثينوم | Ru | 44 | | 1 | 7 | 6 | 2 | $[Kr]4d^75s^1$ |
| روديوم | Rh | 45 | | 1 | 8 | 6 | 2 | $[Kr]4d^85s^1$ |
| بلاديوم | Pd | 46 | | | 10 | 6 | 2 | $[Kr]4d^{10}$ |
| فضة | Ag | 47 | | 1 | 10 | 6 | 2 | $[Kr]4d^{10}5s^1$ |
| كادميوم | Cd | 48 | | 2 | 10 | 6 | 2 | $[Kr]4d^{10}5s^2$ |
| أنديوم | In | 49 | 1 | 2 | 10 | 6 | 2 | $[Kr]4d^{10}5s^25p^1$ |
| قصدير | Sn | 50 | 2 | 2 | 10 | 6 | 2 | $[Kr]4d^{10}5s^25p^2$ |
| أنتيمون | Sb | 51 | 3 | 2 | 10 | 6 | 2 | $[Kr]4d^{10}5s^25p^3$ |
| تيليوريوم | Te | 52 | 4 | 2 | 10 | 6 | 2 | $[Kr]4d^{10}5s^25p^4$ |
| يود | I | 53 | 5 | 2 | 10 | 6 | 2 | $[Kr]4d^{10}5s^25p^5$ |
| زينون | Xe | 54 | 6 | 2 | 10 | 6 | 2 | $[Kr]4d^{10}5s^25p^6$ |

*$[Kr] = 1s^22s^22p^63s^23p^63d^{10}4s^24p^6$

# عناصرُ الدورةِ السادسةِ والسابعة

تحتوي الدورةُ السادسةُ من الجدولِ الدوريِّ على 32 عنصرًا. وهي بذلك تُعدُّ الأطولَ مقارنةً بالدوراتِ السابقة. ولبناءِ ترتيبٍ إلكترونيٍّ لعناصرِ هذه الدورة، تُضافُ الإلكتروناتُ أولاً إلى تحتِ المستوى $6s$ في بنيةِ العنصرينِ السيزيوم Cs والباريوم Ba. وبعدئذٍ، في عنصرِ اللانثانيوم La، يُضافُ الإلكترونُ إلى تحتِ المستوى $5d$.

وفي عنصرِ السيريوم Ce، يبدأُ تحتُ المستوى $4f$ بالامتلاءِ ليُعطي السيريوم الترتيبَ الإلكترونيَّ $[Xe]4f^15d^16s^2$. في العناصرِ الـ 13 الباقية، تُملأُ تحتُ المستوياتِ

لـ $4f$ ثم لـ $5d$، وتنتهي الدورةُ بامتلاءِ تحتِ المستويات $6p$. تحتُ المستويات $4f$ و $5d$ متقاربةٌ جدًّا في مستوى الطاقة، لذلك تتعددُ حالاتُ الخروجِ عن القواعدِ البسيطة، خصوصًا حين تمتلئُ تحتُ المستوياتِ هذه. ويمكنُ ملاحظةُ الترتيبِ الإلكترونيِّ لعناصرِ الدورةِ السادسةِ في الجدولِ الدوريِّ في نهايةِ الكتاب. أما الدورةُ السابعةُ فهي ناقصة، وهي تحتوي على عناصرَ اصطناعيةٍ في الأغلب، وستتمُّ مناقشتُها لاحقًا.

**مسألةٌ نموذجية 4-2**

**أ. اكتبِ الترتيبَ الإلكترونيَّ الكاملَ وترميزَ الغازِ النبيلِ للحديد (Fe).**

**ب. ما عددُ الأوربتالاتِ التي تحتوي على إلكتروناتٍ في ذرةِ الحديد؟ ما عددُ الأوربتالاتِ المملوءةِ تمامًا؟ ما عددُ الإلكتروناتِ غيرِ المزدوجةِ في ذرةِ الحديد؟ في أيِّ تحتِ مستوًى توجدُ الإلكتروناتُ غيرُ المزدوجة؟**

**الحلّ**

أ. إن ترتيبَ الإلكتروناتِ في ذرةِ الحديد حسبَ ترميزِ الترتيبِ الإلكترونيّ هو $1s^22s^22p^63s^23p^63d^64s^2$، وهو الترتيبُ الإلكترونيُّ للأرجون (Ar). والترتيبُ الإلكترونيُّ للحديد، وفقًا للجدول 4-5 للحديد، وحسبَ ترميزِ الغازِ النبيل، هو $[Ar]3d^64s^2$.

ب. لذرةِ الحديدِ خمسةَ عشرَ أوربتالاً تحتوي على الإلكترونات، وهي: أوربتالٌ واحدٌ $1s$، وأوربتالٌ واحدٌ $2s$، وثلاثةُ أوربتالاتِ $2p$، وأوربتالٌ واحدٌ $3s$، وثلاثةُ أوربتالاتِ $3p$، وخمسةُ أوربتالاتِ $3d$، وأوربتالٌ واحدٌ $4s$. والأوربتالاتُ المملوءةُ هي أحدَ عشر. ولذرةِ الحديدِ أربعةُ إلكتروناتٍ غيرُ مزدوجةٍ نجدُها في أوربتالاتِ $3d$.

**تمارينُ تطبيقية**

**الأجوبة:**

**1.** أ. اكتبِ الترتيبَ الإلكترونيَّ الكاملَ وترميزَ الغازِ النبيلِ لذرةِ اليود (I). ما عددُ إلكتروناتِ الطبقاتِ الداخليةِ التي تحتوي عليها ذرةُ اليود (I)؟

ب. ما عددُ الأوربتالاتِ المحتويةِ على إلكتروناتٍ في ذرةِ اليود (I)؟ ما عددُ الأوربتالاتِ المملوءة؟ ما عددُ الإلكتروناتِ غيرِ المزدوجةِ في ذرةِ اليود؟

**2.** أ. اكتبِ الترتيبَ الإلكترونيَّ حسبَ ترميزِ الغازِ النبيلِ للقصدير (Sn). ما عددُ الإلكتروناتِ غيرِ المزدوجةِ في ذرةِ الـ (Sn)؟

ب. ما عددُ الإلكتروناتِ التي تملأُ أوربتالاتِ $d$ في ذرةِ القصدير (Sn)؟ ما اسمُ العنصر، في الدورةِ الرابعة، الذي تمتلكُ ذرّاتُهُ إلكتروناتٍ في أعلى مستوى طاقة، وعددُها يساوي عددَ الإلكترونات في أعلى مستوى طاقةٍ لذرات القصدير (Sn)؟

**3.** أ. اكتبِ الترتيبَ الإلكترونيَّ الكاملَ للعنصرِ ذي العددُ الذريُّ 25 (لا تستعِنْ بالجدولِ الدوريِّ ولا بأيِّ جدولٍ في هذا الكتاب).

ب. حدِّدْ هويةَ العنصرِ المعطى في السؤالِ 3 (أ).

**الأجوبة:**

**1.** أ. $1s^22s^22p^63s^23p^63d^{10}4s^24p^64d^{10}5s^25p^5$، $[Kr]4d^{10}5s^25p^5$، 46 إلكترونًا

ب. 27، 26، 1

**2.** أ. $[Kr]4d^{10}5s^25p^2$، 2

ب. 10، جيرمانيوم

**3.** أ. $1s^22s^22p^63s^23p^63d^54s^2$

ب. المنغنيز

**مسألةٌ نموذجية 3-4**

**أ. اكتبْ كلاً من ترميزِ الترتيبِ الإلكترونيِّ الكامل وترميزِ الغازِ النبيل لذرةِ الروبيديوم.**
**ب. حدّد هويةَ العناصرِ في الدورةِ الثانيةِ والثالثةِ والرابعةِ من الجدولِ الدوريِّ التي لديها العددُ نفسُهُ من الإلكتروناتِ في أعلى مستوى طاقة، كما لعنصرِ الروبيديوم.**

**الحلّ**

أ. $1s^22s^22p^63s^23p^63d^{10}4s^24p^65s^1$، $[Kr]5s^1$.
ب. يحتوي الروبيديوم على إلكترونٍ واحدٍ في أعلى مستوى طاقة (الخامس). والعناصرُ ذاتُ الترتيبِ الإلكترونيِّ الخارجيِّ المتشابه، الواقعةُ في الدورةِ الثانيةِ هي الليثيوم Li، وفي الدورةِ الثالثةِ الصوديوم Na، وفي الدورةِ الرابعةِ البوتاسيوم K.

**تمارينُ تطبيقية**

1. أ. اكتبْ ترميزَ الترتيبِ الإلكترونيِّ الكامل وترميزَ الغازِ النبيل لذرةِ الباريوم.
ب. حدّدْ هويةَ العناصرِ في الدورةِ الثانيةِ والثالثةِ والرابعةِ من الجدولِ الدوريِّ التي لديها العددُ نفسُهُ من إلكتروناتِ مستوى الطاقةِ الأعلى، كما لعنصرِ الباريوم.

2. أ. اكتبْ ترميزَ الغازِ النبيلِ لذرةِ الذهب (Au).
ب. حدّدْ هويةَ عناصرِ الدورةِ السادسةِ التي لديها إلكترونٌ واحدٌ غيرُ مزدوجٍ في تحتِ المستوى $6s$.

**الأجوبة:**

1. أ. $1s^22s^22p^63s^23p^63d^{10}4s^24p^64d^{10}5s^25p^66s^2$، $[Xe]6s^2$.
ب. Be، Mg، Ca، Sr.

2. أ. $[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^1$.
ب. Au، Cs، Pt

## مراجعةُ القسم 3-4

1. أ. ما الترتيبُ الإلكترونيُّ للذرة؟
ب. ما المبادىءُ الثلاثةُ التي تحكمُ الترتيبَ الإلكترونيَّ للذرة؟

2. ما الطرقُ الثلاثةُ المستخدمةُ لتمثيلِ الترتيبِ الإلكترونيِّ في الذرة؟

3. ما قاعدةُ الثمانيةِ octet للإلكترونات؟ وأيُّ عناصرَ تحتوي على ثمانيةِ إلكترونات؟

4. اكتبِ الترميزَ الإلكترونيَّ الكامل، وترميزَ الغازِ النبيل، وترميزَ الاوربتالاتِ للعناصرِ التالية:
أ. الكربون ب. النيون ج. الكبريت

5. مستعينًا بالجدولِ الدوري، حدِّد العناصرَ التي لديها الترتيبُ الإلكترونيُّ التالي:
أ. $1s^22s^22p^63s^23p^3$.
ب. $[Ar]4s^1$.
ج. عنصرٌ يحتوي على أربعةِ إلكتروناتٍ في أوربتالاتِ تحتِ المستوى P من المستوى الرئيسِ الثالث.
د. عنصرٌ رئيسٌ يحتوي على زوجٍ من الإلكتروناتِ وثلاثةِ إلكتروناتٍ غيرِ مزدوجة (مفردة) في المستوى الرئيسِ الرابع.

# مراجعةُ الفصل 4

## ملخصُ الفصل

**1-4**

- في بدايةِ القرنِ العشرين، تبيَّنَ أن للضوءِ طبيعةً مزدوجة (موجية - جسيمية).
- طُوِّرتْ نظريةُ الكمِّ لشرحِ ظاهرةِ التأثيرِ الكهروضوئيِّ والطيفِ الخطيِّ لذرةِ الهيدروجين.
- تنصُّ نظريةُ الكمِّ على أن الإلكتروناتِ توجدُ في الذراتِ ضمنَ مستوياتِ طاقةٍ محدّدةٍ فقط.
- عندما يتحركُ الإلكترونُ من مستوى طاقةٍ رئيس معيَّن إلى مستوى طاقةٍ أدنى ينبعثُ فوتون. طاقةُ هذا الفوتون تساوي تمامًا الفرقَ بين طاقتَيْ هذينِ المستويين.
- يستطيعُ الإلكترونُ في ذرةٍ معينةٍ أن يتحرَّكَ من مستوى طاقةٍ رئيسٍ إلى مستوى طاقةٍ أعلى عبر امتصاصِ كميّةٍ من الطاقةِ تساوي تمامًا الفرقَ بين هذينِ المستويين.

### المفردات

| | |
|---|---|
| الأشعّةُ الكهرومغناطيسية | (85) electromagnetic radiation |
| التأثيرُ الكهروضوئيّ | (87) photoelectric effect |
| التردد | (85) frequency |
| حالةُ الاستثارة | (88) excited state |
| طولُ الموجة | (85) wavelength |
| طيفُ الانبعاث الخطيّ | (89) line-emission spectrum |
| الطيفُ الكهرومغناطيسيّ | (85) electromagnetic spectrum |
| الطيف المستمر | (89) continuous spectrum |
| الفوتون | (87) photon |
| الكمّ | (87) quantum |
| المستوى الأرضيُّ للطاقة | (88) ground state |

**2-4**

- في بدايةِ القرنِ العشرين، تبيَّنَ أن للإلكترونِ خواصَّ طبيعيةً مزدوجةً موجيةً - جسيمية.
- الأوربتالُ منطقةٌ ذاتُ ثلاثةِ أبعادٍ تحيطُ بالنواةِ ويُحتملُ وجودُ إلكترونٍ أو إلكتروناتٍ فيها.
- أعدادُ الكمِّ الأربعةُ التي تصفُ خواصَّ الإلكتروناتِ في مستوياتِ الطاقةِ الذريةِ هي: عددُ الكمِّ الرئيس، وعددُ الكمِّ الثانويّ، وعددُ الكمِّ المغناطيسيّ، وعددُ الكمِّ المغزليّ.

### المفردات

| | |
|---|---|
| أعدادُ الكمّ | (93) quantum numbers |
| الأوربتال | (93) orbital |
| عددُ الكمِّ الثانويّ | (93) angular momentum number |
| عددُ الكمِّ الرئيس | (93) principle quantum number |
| عددُ الكمِّ المغزليّ | (96) spin quantum number |
| عددُ الكمِّ المغناطيسيّ | (95) magnatic quantum number |

**3-4**

- تدخلُ الإلكتروناتُ مستوياتِ الطاقةِ للذرةِ في حالتِها العاديةِ الأرضيةِ (ground state) حسبَ مبدأِ أوفباو وقاعدةِ هوند ومبدأ باولي للاستثناء.
- يُكتبُ الترتيبُ الإلكترونيُّ باستعمالِ ثلاثةِ ترميزات: ترميزِ الأوربتال، وترميزِ الترتيبِ الإلكترونيّ، وترميزِ الغازِ النبيل.
- لا يَتْبَعِ الترتيبُ الإلكترونيُّ لبعضِ الذرّاتِ (كالكروم مثلاً) قاعدةَ أوفباو، بل ترتيبَ المستوى الأرضيِّ الذي يُنتجِ ترتيبًا بأدنى طاقةٍ ممكنة (الأكثر استقرارًا).

### المفردات

| | |
|---|---|
| أعلى مستوى طاقة | (102) highest occupied level |
| إلكتروناتُ الطبقةِ الداخلية | (102) inner-shell electrons |
| الترتيبُ الإلكترونيّ | (97) electron configuration |
| ترتيبُ الغازِ النبيل | (104) noble gas configuration |
| الغازُ النبيل | (103) noble gas |
| قاعدةُ هوند | (98) Hund's rule |
| مبدأُ أوفباو | (97) Aufbau's principle |
| مبدأُ باولي للاستثناء | (97) Pauli exclusion principle |

### مراجعةُ المفاهيم

**1.** أ. عدِّدْ خمسةَ أمثلةٍ على الأشعةِ الكهرومغناطيسية.
ب. ما سرعةُ جميعِ أشكالِ الأشعّةِ الكهرومغناطيسية في الفراغ؟
ج. اكتبْ معادلةَ العلاقةِ بين الترددِ وطولِ الموجةِ لأيِّ شكلٍ من الأشعةِ الكهرومغناطيسية.

**2.** حضِّرْ جدولاً من قائمتين. سجِّل في القائمةِ الأولى خواصَّ الضوءِ التي يمكنُ تفسيرُها من خلالِ النظريةِ الموجيَّة، وفي القائمةِ الثانيةِ سجِّل خواصَّ الضوءِ التي تفسِّرها النظريةُ الجُسيمية، (يمكنُك أن ترجعَ إلى كتابِ الفيزياء).

**3.** ما مدى كلٍّ من الترددِ والطولِ الموجيِّ للضوءِ المرئيّ؟

**4.** اكتبْ ألوانَ الضوءِ في الطيفِ المرئيِّ تبعًا لتزايدِ التردد.

**5.** ما التجربتانِ الخاصَّتانِ بالضوءِ والمادَّةِ اللَّتانِ قامَ بهما العلماءُ في أوائلِ القرنِ العشرين، ولا يمكن تفسيرُهما بنظريةِ الضوءِ الموجيَّة؟

**6.** أ. ما العلاقةُ بينَ طولِ الموجةِ والترددِ في الأشعَّةِ الكهرومغناطيسية؟
ب. ما العلاقةُ بينَ الطاقةِ والترددِ في الأشعَّةِ الكهرومغناطيسية؟
ج. ما العلاقةُ بينَ الطاقةِ وطولِ الموجةِ في الأشعَّةِ الكهرومغناطيسية؟

**7.** أيٌّ من نظريتَي الضوءِ، الموجيَّةُ أم الجسيميَّةُ، تفسِّرُ الظواهرَ التاليةَ بشكلٍ أفضل
أ. تداخلَ الضوء.
ب. التأثيرَ الكهروضوئي.
ج. انبعاثَ الأشعَّةِ الكهرومغناطيسيةِ من الذرةِ المستثارة.

**8.** ما الفرقُ بينَ الحالةِ العاديةِ والحالةِ المستثارةِ للذرة؟

**9.** كيف ينتجُ طيفُ انبعاثِ الهيدروجين، حسبَ نموذجِ بور؟

**10.** أذكر مأخذين رئيسيين على نموذجِ بور للذرة.

**11.** أ. ما عددُ الكمِّ الرئيس؟
ب. ما رمزُهُ؟
ج. ما الطبقة (shell)؟
د. كيف ترتبطُ بين ($n$) وعددِ أوربتالاتِ مستوى الطاقةِ الرئيسِ وبينَ عددِ الإلكتروناتِ اللازمةِ لإشباعِ المستوى الرئيس؟

**12.** أ. ما المعلوماتُ التي نستدلُّ عليها من عددِ الكمِّ الثانويّ؟
ب. ما المقصودُ بتحتِ المستوياتِ (sublevels) والطبقةِ الداخلية (subshell)؟

**13.** أعطِ كلاًّ من قيمِ ($n$) المدرَجةِ فيما يلي أعدادَ وأنواعَ تحتِ المستوياتِ الممكنةِ لمستوى الطاقةِ الرئيس (انظرِ الجدول 4-2):
أ. $n = 1$
ب. $n = 2$
ج. $n = 3$
د. $n = 4$
هـ. $n = 7$

**14.** أ. ما المعلوماتُ التي يُفيدُنا بها عددُ الكمِّ المغناطيسيّ؟
ب. ما عددُ الأوربتالاتِ الممكنةِ لكلٍّ من تحتِ المستوياتِ التالية: $s$ ، $p$ ، $d$ ، $f$؟
ج. اشرحْ وارسُم الترميزاتِ الخاصةَ للتمييزِ بينَ أوربتالاتِ تحتِ المستوى $p$ .

**15.** أ. ما العلاقةُ بين عددِ الكمِّ الرئيس ($n$) والعددِ الإجماليِّ للأوربتالاتِ في مستوى طاقةٍ رئيسٍ معيَّن؟
ب. ما عددُ الأوربتالاتِ الإجماليُّ في مستوى الطاقةِ الرئيسِ الثالث، وفي مستوى الطاقةِ الرئيسِ الخامس؟

**16.** أ. ما المعلوماتُ التي يُفيدُنا بها عددُ الكمِّ المغزليّ؟
ب. ما القيمُ المحتمَلةُ لهذا العددِ الكميّ؟

**17.** ما عددُ الإلكتروناتِ التي يمكنُها أن تشغلَ مستوياتِ الطاقةِ الرئيسةِ عندما يكونُ ($n$) مساويًا لـ:
أ. 1
ب. 3
ج. 4
د. 6
هـ. 7

**18.** أ. اكتب مبدأَ أوفباو بتعبيرِكَ الخاصّ؟
ب. اشرحْ معنى هذا المبدأِ بالنسبةِ إلى أيِّ ذرةٍ لديها عدّةُ إلكترونات.

**19.** أ. عبِّرْ عن قاعدةِ هوند بكلماتِك الخاصَّة.
ب. ما أسسُ هذه القاعدة؟

**20.** أ. اكتب مبدأ باولي للاستثناء بتعبيرِكَ الخاصّ؟
ب. ما دلالةُ عددِ الكمِّ المغزليّ؟
ج. قارنْ بين قيمتَيّ عددِ الكمِّ المغزليِّ لإلكترونين في الأوربتالِ نفسِه.

**21.** أ. ماذا يعني أعلى مستوى طاقةٍ تشغَلُهُ الإلكترونات؟
ب. ما هي إلكتروناتُ الطبقاتِ الداخلية؟

**22.** حدِّدْ، في العناصرِ التالية، أبعدَ مستوى طاقةٍ رئيسٍ يحتوي على إلكترونات:
أ. He
ب. Be
ج. Al
د. Ca
هـ. Sn

**23.** اكتبِ ترميزَ الأوربتالِ للعناصرِ التالية (انظرِ المسألةَ النموذجيَّة 4-1):
أ. P
ب. B
ج. Na
د. C

**24.** اكتبْ ترميزَ الترتيبِ الإلكترونيِّ لعنصرٍ مجهولٍ يحتوي على الأعدادِ التاليةِ من الإلكترونات:
أ. 3
ب. 6
ج. 8
د. 13

**25.** أجبْ عن الأسئلةِ التاليةِ بناءً على أن الترتيبَ الإلكترونيَّ للأكسجينِ هو $1s^22s^22p^4$
أ. ما عددُ الإلكتروناتِ في أيِّ ذرةٍ من ذراتِ الأكسجين؟
ب. ما العددُ الذريُّ لعنصرِ الأكسجين؟
ج. اكتبِ الترتيبَ الإلكترونيَّ لذرة الأكسجين مستخدمًا ترميزَ الأوربتال.
د. ما عددُ الإلكتروناتِ غيرِ المزدوجةِ في الأكسجين؟
هـ. ما أعلى مستوى طاقةٍ يحتوي على إلكتروناتِ ذرةِ الأكسجين؟
و. ما عددُ إلكتروناتِ الطبقاتِ الداخليةِ التي تحتوي عليها تلك الذرة؟
ز. في أيِّ أوربتالاتٍ توجدُ إلكتروناتُ الطبقاتِ الداخلية؟

**26.** أ. ما الغازاتُ النبيلة؟
ب. ما ترميزُ الغازِ النبيل؟
ج. كيف تُبَسِّطُ كتابةَ الترتيبِ الإلكترونيِّ للذرةِ باستعمالِ ترميزِ الغازِ النبيل؟

**27.** اكتبِ الترتيبَ الإلكترونيَّ مُستخدمًا ترميزَ الغازِ النبيلِ للعناصرِ التالية (راجعِ المسألةَ النموذجيَّة 4-2):
أ. Cl
ب. Ca
ج. Se

**28.** أ. ما المعلوماتُ التي يُفيدُنا بها ترميزُ الغازِ النبيلِ $[Ne]3s^2$؟
ب. أيُّ عنصرٍ يمثِّلُ هذا الترميز؟

**29.** اكتبْ كلاًّ من ترميزِ الترتيبِ الإلكترونيِّ وترميزِ الغازِ النبيلِ للعناصرِ التالية (لاحظِ المسألةَ النموذجيَّة 4-3):
أ. Na
ب. Sr
ج. P

**30.** حدِّدْ العناصرَ التاليةِ بناءً على ترتيبِها الإلكترونيّ:
أ. $1s^22s^22p^1$
ب. $1s^22s^22p^5$
ج. $[Ne]3s^2$
د. $[Ne]3s^23p^2$
هـ. $[Ne]3s^23p^5$
و. $[Ar]4s^1$
ز. $[Ar]3d^64s^2$

## مسائل

### الفوتوناتُ والأشعَّةُ الكهرومغناطيسية

**31.** احسب ترددَ الضوءِ عند الطولِ الموجيّ $4.257 \times 10^{-7}$ cm.

**32.** احسب طاقةَ الفوتون (بالجول)، إذا علمًا بأن ترددَهُ يساوي $3.55 \times 10^{17}$ Hz.

**33.** استخدمِ المعادلتين $E = hv$ و $c = \lambda v$ لتشتقَّ معادلةً تكون فيها علاقةٌ بين E وكلٍّ من $h$ و $c$ و $\lambda$.

**34.** كم من الوقتِ تستغرقُ موجةٌ راديويةٌ تردُّدُها $7.25 \times 10^{5}$ Hz كي تنتقلَ من المريخِ إلى الأرض، علمًا بأن المسافةَ بينَ هذينِ الكوكبين هي $8.00 \times 10^{7}$ km ؟

**35.** الكوبلت - 60 ($^{60}_{27}Co$) هو نظيرٌ مشعٌّ صناعيٌّ يتمُّ إنتاجُهُ داخلَ المفاعلاتِ الذريةِ ليُستخدمَ كمصدرٍ لأشعةٍ جامّا المستخدمةِ في علاجِ بعضِ الأورامِ السرطانية. إذا كان طولُ موجةِ أشعةِ جامّا من مصدر Co–60 هو $1.00 \times 10^{-3}$ nm فكم تكونُ طاقةُ فوتونِ هذه الأشعَّة؟

### الأوربتلاتُ والترتيبُ الإلكترونيّ

**36.** ضعْ قائمةً بتدرجِ الأوربتالاتِ حسبَ ملئِها من $1s$ إلى $7p$.

**37.** مستعينًا بالجدولِ الدوريّ، اكتبِ الترتيبَ الإلكترونيَّ مستخدمًا ترميزَ الغازِ النبيلِ للعناصرِ التالية:

أ. As

ب. Pb

ج. Lr

د. Hg

هـ. Sn

و. Xe

ز. La

**38.** كيف يتعارضُ الترتيبُ الإلكترونيُّ لذرتَيِ الكرومِ والنحاسِ مع مبدأ أوفباو؟

## مراجعةٌ متنوعة

**39.** أ. أيُّ الضوءينِ موجتُهُ أطول، الأخضرُ أم الأصفر؟

ب. أيُّ الأشعةِ، السينيةُ أم الميكرويةُ، ذاتُ ترددٍ أكبر؟

ج. أيُّ الأشعَّةِ، فوق البنفسجيةِ أم تحت الحمراء، هي ذاتُ سرعةٍ أكبر؟

**40.** اكتبِ الترتيبَ الإلكترونيَّ الكاملَ وترميزَ الغازِ النبيلِ للعناصرِ التالية:

أ. Ar

ب. Br

ج. Al

**41.** ما طولُ موجةِ شعاعٍ كهرومغناطيسيّ تردُّدُه $7.500 \times 10^{12}$ Hz، إذا كانت سرعةُ الضوءِ $3 \times 10^{8}$ m/s؟

**42.** أ. ما المقصود بطيفِ الأشعَّةِ الكهرومغناطيسية؟

ب. ما الوحداتُ المستخدمةُ للتعبيرِ عن طولِ الموجة؟

ج. ما الوحداتُ المستخدمةُ للتعبيرِ عن تردُّدِ الموجاتِ الكهرومغناطيسية؟

**43.** أجب عن الأسئلةِ التاليةِ بناءً على أن الترتيبَ الإلكترونيَّ لعنصرِ الفوسفور (P) هو $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$:

أ. ما عددُ الإلكتروناتِ في ذرةٍ من عنصرِ الفوسفور؟

ب. ما العددُ الذريُّ لهذا العنصر؟

ج. اكتبِ الترتيبَ الإلكترونيَّ حسبَ ترميزِ الأوربتال.

د. ما عددُ الإلكتروناتِ غيرِ المزدوجةِ في ذرةِ الفوسفور؟

هـ. ما مستوى الطاقةِ الأعلى الذي يحتوي على إلكتروناتٍ في ذرةِ الفوسفور؟

و. ما عددُ طبقاتِ الإلكتروناتِ الداخليةِ لذرةِ الفوسفور؟

ز. في أيِّ أوربتالاتٍ تقعُ إلكتروناتُ الطبقاتِ الداخليةِ للفوسفور؟

**44.** كم هو ترددُ موجةٍ راديويةٍ لها طاقةٌ مقدارُها $1.55 \times 10^{-24}$J/photon؟

**45.** مستعينًا بالجدول الدوري، اكتبِ الترتيبَ الإلكترونيَّ مستخدمًا ترميزَ الغازِ النبيلِ للعناصرِ التالية:

أ. Hf
ب. Sc
ج. Fe
د. At
هـ. Ac
و. Zn

**46.** عند تسخينِ الصوديوم ينبعثُ خطٌّ طيفيٌّ أصفرُ طاقتُهُ $3.37 \times 10^{-19}$ J/photon

أ. كم هو تردُّدُه؟
ب. كم هو طولُ موجتِه؟

**47.** أ. ما الأوربتال؟
ب. صفْ أوربتالاً من خلالِ مفهومِ السحابةِ الإلكترونية.

## بحثٌ وكتابة

**48.** لا تحتوي لافتاتُ النيونِ على غازِ النيون دائمًا. الأضواءُ ذاتُ الألوانِ المختلفةِ الصادرةُ من هذه اللافتاتِ، تكونُ نتيجةَ انبعاثِ أشعةٍ ناتجةٍ عن غازاتٍ تحت ضغطٍ منخفضٍ في أنابيبَ مختلفة. ابحثْ عن الغازاتِ الأخرى المستخدمةِ في لافتاتِ النيون، وعدِّدِ الألوانَ التي تصدُرُ عن هذه الغازات.

**49.** اكتب تقريرًا عن التأثيرِ الكهروضوئيِّ، موضحًا بعضًا من استعمالاتِه العملية. واشرحِ العمليةَ الأساسيةَ لكلٍّ من التقنياتِ المذكورة.

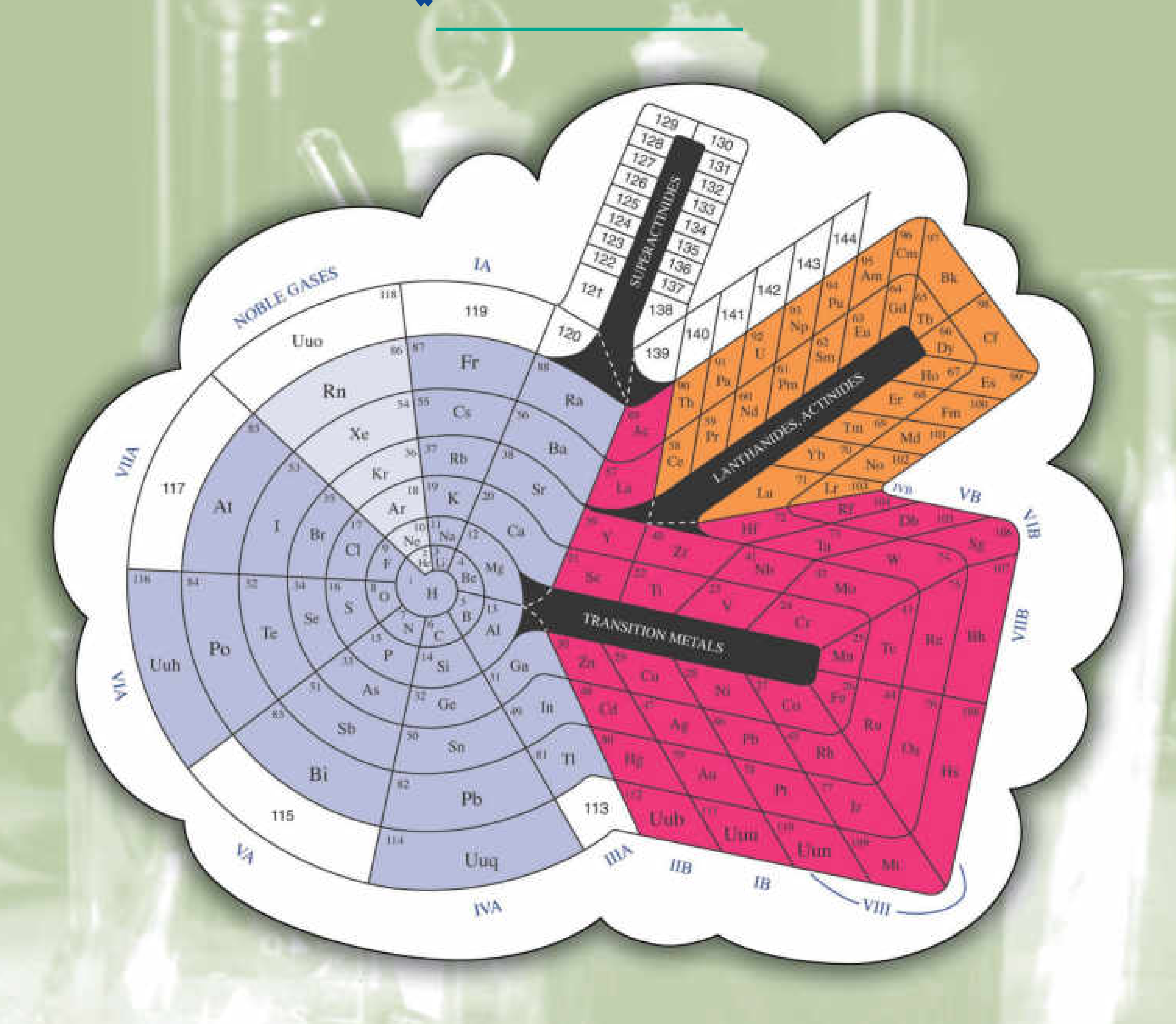
## التقويمُ البديل

### تقويمُ الأداء

**50.** يُستعملُ المطيافُ لإصدارِ الطيفِ وتحليلِه. اصنعْ مطيافًا مبسَّطًا وحدِّدْ طيفَ الامتصاصِ لعددٍ من الغازاتِ الأوليَّة (يُزوِّدُكَ معلِّمُكَ بالعيِّناتِ الأوليَّة).

## الفصـــل 5

# القانونُ الدوريّ




**الخواصُّ الفيزيائيةُ والكيميائيةُ للعناصرِ**
**هي دَوَالٌّ دوريةٌ لأعدادِها الذِّرية**

# تاريخُ الجدولِ الدوريّ

أيُّ إرباكٍ هذا الذي عمَّ أوساطَ كيميائيِّي القرنِ التاسعَ عشر، لا سيَّما سنة 1860، عندما تمَّ اكتشافُ 60 عنصرًا كيميائيًّا مختلفًا؟! فقد كان على هؤلاءِ الكيميائيينَ أن يتعلموا خواصَّ هذه العناصر، إضافةً إلى خواصِّ المركَّباتِ التي تكوِّنُها. إنه عملٌ ليس سهلاً. ومما زادَ الأمورَ تعقيدًا، عدمُ توفُّرِ طريقةٍ دقيقةٍ حينذاك لتحديدِ الكتلةِ الذريةِ لذرّاتِ العناصرِ أو لمعرفةِ عددِ الذرّاتِ لعنصرٍ محدَّدٍ في مركَّبٍ كيميائيّ. فضلاً عن ذلك أدّى استعمالُ الكيميائيينَ كتلاً ذريةً مختلفةً للعناصرِ نفسِها، لعدمِ توفُّرِ طريقةٍ موحَّدةٍ في القياس، إلى اقتراحِ تراكيبَ مختلفةٍ لمركباتِ هذه العناصر، مما جعلَ فهمَ بعضِهم لنتائجِ بعضِهم الآخرِ أمرًا شبهَ مستحيل.

تجمَّعَ في أيلول سنة 1860 عددٌ من الكيميائيينَ في مؤتمرٍ عالميّ، في كارلسروه في ألمانيا، لحسمِ موضوعِ الكتلةِ الذريةِ ومواضيعَ أخرى مُختَلفٍ عليها. قدَّمَ الكيميائيُّ الإيطاليُّ ستانيسلاو كانيزارو في المؤتمرِ طريقةً مقنعةً لتحديدِ الكتلةِ النسبيةِ للعناصرِ بدقة، سُمِّيتْ بعدئذٍ باسمه (أي طريقةَ كانيزارو). وقد مكَّنتْ هذه الطريقةُ الكيميائيينَ من اعتمادِ معيارٍ لقيمٍ قياسيةٍ للكتلِ الذرّية، ومهَّدتْ للبحثِ عن العلاقةِ بين الكتلِ الذرِّيةِ وخواصِّ العناصرِ الكيميائيةِ الأخرى.

## مندلييف والقاعدةُ الدوريةُ للعناصرِ الكيميائية

عندما سمعَ الكيميائيُّ الروسيُّ ديمتري مندلييف عن قيمِ الكتلِ الذرّيةِ التي تمَّ بحثُها في كارلسروه، قرَّرَ إدخالَ هذه القيمِ الجديدةِ في كتابٍ للكيمياءِ كان يؤلفُه. توقَّعَ مندلييف أن يتمكنَ من تنظيمِ العناصرِ في الكتابِ وفقًا لخواصِّها، وذهبَ في ذلك إلى حدِّ تنظيمِ المعلوماتِ كأنه يحضِّرُ بحثًا، فوضعَ اسم كلِّ عنصرٍ على بطاقةٍ جنبًا إلى جنبٍ مع كتلتِهِ الذرّيةِ وخواصِّهِ الكيميائيةِ والفيزيائيةِ المعروفة. بعد ذلك، رتَّبَ هذه البطاقاتِ وفقًا للخواصِّ المشتركةِ بين العناصر، باحثًا عن أنماطٍ تصنيفية، أو نزَعاتٍ تعينُهُ في التوصيفِ والتصنيف.

لاحظَ مندلييف، عند ترتيبِ العناصرِ بشكلٍ تصاعديٍّ حسبَ قيمِ الكتلِ الذرّية، ظهورَ توافقاتٍ في خواصِّها الكيميائيةِ على نحوٍ دوريٍّ منتظِم. هذه الأنماطُ المتكرِّرةُ لخواصِّ العناصرِ سُمِّيتْ بالتكراريةِ أو الدورية. فمثلاً يمرُّ عقربُ الدقائقِ في الساعةِ بأيِّ رقمٍ من أرقامِ الساعةِ بتكرارٍ منتظِمٍ كلَّ 60 ثانية، وكذلك تكونُ تكراريةً حركةُ الموجاتِ المتمركزةِ حولَ موقعِ سقوطِ قطرةِ ماءٍ في بحيرةٍ ساكنة **(الشكل 1-5)**.

وهكذا، ابتدعَ مندلييف جدولاً رتَّبَ فيه مجاميعَ العناصرِ ذاتِ الصفاتِ المشتركةِ بحسبِ تصاعدِ قيمِ كُتلِها الذرّية، وسمّاه الجدولَ الدوريَّ للعناصر. وقد نُشِرتْ أولُ صيغةٍ للجدول، كما تظهرُ في **الشكل 2-5**، سنةَ 1869. ومن الملاحظِ أن مندلييف وضعَ اليود I (كتلتُهُ الذرية 127) بعد التيلوريوم Te الذي كتلتُهُ الذرية 128. وهذا يتناقضُ

**القســـم 1-5**

## النواتجُ التعليمية

- يوضحُ دورَ مندلييف وموزلي في تطويرِ الجدولِ الدوريّ.
- يصفُ الجدولَ الدوريَّ الحديث.
- يوظفُ القانونَ الدوريَّ لتوقُّعِ الخواصِّ الفيزيائيةِ والكيميائيةِ للعناصر.
- يصفُ العلاقةَ بين عناصرِ الزمرةِ الواحدةِ في الجدولِ الدوريِّ اعتمادًا على العددِ الذرِّي.



**الشكل 1-5** التباعدُ المنتظِمُ للأمواجِ المائيةِ يمثِّلُ نمطًا دوريًّا بسيطًا.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Ti=50 | Zr=90 | ?=180. |
| | | | V=51 | Nb=94 | Ta=182. |
| | | | Cr=52 | Mo=96 | W=186. |
| | | | Mn=55 | Rh=104,4 | Pt=197,4 |
| | | | Fe=56 | Ru=104,4 | Ir=198. |
| | | | Ni−Co=59 | Pl=106,6 | Os=199. |
| H=1 | | | Cu=63,4 | Ag=108 | Hg=200. |
| | Be=9,4 | Mg=24 | Zn=65,2 | Cd=112 | |
| | B=11 | Al=27,4 | ?=68 | Ur=116 | Au=197? |
| | C=12 | Si=28 | ?=70 | Su=118 | |
| | N=14 | P=31 | As=75 | Sb=122 | Bi=210 |
| | O=16 | S=32 | Se=79,4 | Te=128? | |
| | F=19 | Cl=35,5 | Br=80 | I=127 | |
| Li=7 | Na=23 | K=39 | Rb=85,4 | Cs=133 | Tl=204 |
| | | Ca=40 | Sr=87,6 | Ba=137 | Pb=207. |
| | | ?=45 | Ce=92 | | |
| | | ?Er=56 | La=94 | | |
| | | ?Yt=60 | Di=95 | | |
| | | ?In=75,6 | Th=118? | | |

**الشكل 2-5** في أولِ جدولِ دوريٍّ نُشِرَ له، رتَّب مندلييف العناصرَ عموديًّا حسبَ الكتلة الذريّةِ النسبية. ويشارُ إلى الكتلة الذريّةَ لكلِّ عنصرٍ بالعددِ الذي يلي رمزَهُ. أما العناصرُ المشارُ إليها بعلاماتِ استفهامٍ عند الكتلِ الذريّةِ المقدَّرة بـ: 45، 68 و70، فقد تمَّ تعريفُها لاحقًا بـ: سكانديوم Sc، جاليوم Ga وجيرمانيوم Ge.

مع النمطِ التسلسليِّ لقيمِ الكتلِ الذريةِ المعتمدِ في الجدول، إلا أن هذا التصرفَ سمحَ لمندلييف أن يضعَ التيلوريوم في زمرةٍ من العناصرِ تشتركُ في خواصَّ متشابهة، لكن من خلال توزُّعٍ أفقيٍّ في الجدول الدوريّ. وتشملُ هذه الزمرةُ عناصرَ الأكسجين O، والكبريت S، والسيلينيوم Se. ومكَّنَهُ ذلك من وضعِ اليود I أيضًا في الزمرةِ التي تشبهُها كيميائيًّا، والتي تشملُ الفلور F والكلور Cl والبروم Br.

لقد تركتْ طريقةُ مندلييف بعضَ الفراغاتِ في هيكلِ الجدولِ الدوريّ (لاحظ **الشكل 2-5**)، إلا أنه في العام 1871 توقَّعَ، وبجرأة، وجودَ عناصرَ ذاتِ خواصَّ محدّدةٍ، ولم تكنْ مكتشفةً حينئذٍ، لملءِ ثلاثةٍ من هذه الفراغات. وقد تمَّ فعلاً اكتشافُ هذه العناصرِ الثلاثةِ سنةَ 1866، وهي اليومَ معروفةٌ بالأسماء: سكانديوم Sc، وجاليوم Ga، وجيرمانيوم Ge، وقد تطابقتْ خواصُّها تمامًا مع ما توقّعَهُ مندلييف.

نجاحُ توقُّعاتِ مندلييف دعا بقيةَ الكيميائيينَ إلى قبولِ الجدولِ الدوريِّ الذي وضعَه، والذي أكسبَهُ فضلَ اكتشافِ القاعدةِ الدوريةِ للعناصر. ومع ذلك بقيَ سؤالان:

(1) لماذا تشذُّ بعضُ العناصرِ ولا تخضعُ للترتيبِ التصاعديِّ في قيمِ الكتلِ الذريةِ في الجدولِ الدوري؟

(2) ما السببُ الذي يجعلُ العناصرَ تخضعُ للقاعدةِ الدورية؟

## موزلي والقانونُ الدوريّ

لم تتمَّ الإجابةُ عن السؤالِ الأولِ إلا بعد أربعينَ عامًا من نشرِ الجدولِ الدوريِّ الذي وضعَهُ مندلييف. في العام 1911، فحصَ الكيميائيُّ الإنكليزيُّ هنري موزلي، الذي عملَ مع العالِمِ الشهيرِ أرنست رذرفورد، أطيافًا لثمانيةٍ وثلاثينَ عنصرًا مختلفًا. وعند تحليلِ معطياتِهِ، اكتشف موزلي نمطًا جديدًا لترتيبِ العناصرِ لم يكنْ معروفًا. فالعناصرُ في

الجدولِ بدتْ مرتَّبةً بشكلٍ تصاعديٍّ بحسبِ شحنتِها النوويةِ أو عددِ البروتوناتِ في نواها. أدى عملُ موزلي هذا إلى التعريفِ الحديثِ للعددِ الذريّ، إضافةً إلى إدراكٍ بأن العددَ الذريَّ، وليس العددَ الكتليَّ، هو أساسُ تنظيمِ الجدولِ الدوريّ.

جاء اكتشافُ موزلي هذا منسجمًا مع ترتيبِ مندلييف لجدولِهِ الدوريِّ الذي اعتمَدَ الخواصَّ وليس الانقيادَ الكاملَ لقيمِ العددِ الكتليّ. على سبيلِ المثال، ووفقًا لموزلي، يوضعُ التيلوريوم Te ذو العددِ الذريِّ 52 قبل اليود ذي العددِ الذريِّ 53. لقد قادَ مبدأُ مندلييف في الدوريةِ الكيميائيةِ إلى ما هو معروفٌ حاليًّا **بالقانونِ الدوريّ** periodic law الذي ينصُّ على ما يلي: «الخواصُّ الكيميائيةُ والفيزيائيةُ للعناصرِ ترتبطُ دوريًّا بأعدادِها الذرية». وبعبارةٍ أخرى: عند ترتيبِ العناصرِ تصاعديًّا حسبَ أعدادِها الذرية، تظهرُ في الجدولِ العناصرُ ذاتُ الخواصِّ المتشابهةِ وفقَ فتراتٍ منتظمة.

## الجدولُ الدوريُّ الحديث

طرأتْ على الجدولِ الدوريِّ تغييراتٌ شاملةٌ منذ زمنِ مندلييف (انظر **الشكل 5-6**). فقد اكتشفَ الكيميائيونَ عناصرَ جديدةً وصنَّعوا عناصرَ أخرى في المختبرات (أكثر من أربعين عنصرًا جديدًا)، وأمكنَ وضعُها كلِّها في زمرٍ مع العناصرِ الأخرى ذاتِ الخواصِّ المتشابهة. **الجدولُ الدوريُّ** periodic table إذن هو ترتيبٌ للعناصرِ حسبَ أعدادِها الذرية، بحيث تقعُ العناصرُ ذاتُ الخواصِّ المتشابهةِ في العمودِ نفسِهِ أي في الزمرةِ نفسِها.

### الغازاتُ النبيلة

لعلَّ الإضافةَ الأبرزَ إلى الجدولِ الدوريِّ قد كانت مع اكتشافِ الغازاتِ النبيلةِ (**الشكل 5-3**). ففي العام 1894، اكتشفَ الفيزيائيُّ الإنكليزيّ جون ويليام سترات والكيميائيُّ الاسكتلنديّ ويليام رامزي عنصرَ الأرجون (Ar)، وهو غازٌ لم يُلحَظْ في الجوِّ من قبلُ بسببِ انخفاضِ قدرتِهِ على التفاعلِ الكيميائيّ. وفي العام 1868 اكتُشفَ نتيجةً لتحليلِ طيفِ ضوءِ الشمسِ المنبعث، غازٌ نبيلٌ آخر هو الهيليوم، وهو أحدُ مكوِّناتِ الشمس. وفي العام 1895، أظهرَ رامزي أن الهيليوم موجودٌ أيضًا في جوِّ الأرض.

ولوضعِ الأرجون والهيليوم في الجدولِ الدوريِّ، اقترحَ رامزي زمرةً جديدةً من العناصر، لوضعِها بين ما يُعرفُ الآن بالزمرةِ 17 (عائلة الفلور) والزمرةِ 1 (عائلة الليثيوم). وفي العام 1898، اكتشفَ رامزي غازَينِ نبيلينِ آخرين، ووضعَهما في زمرتِهِ الجديدة، هما الكريبتون (Kr) والزينون (Xe). والغازُ النبيلُ الأخيرُ الذي تمَّ اكتشافُهُ هو الرادون (Rn)، اكتشفَهُ العالمُ الألمانيُّ فريديريك إرنست دورن سنةَ 1900.

| | | | 2 He |
|---|---|---|---|
| 7 N | 8 O | 9 F | 10 Ne |
| 15 P | 16 S | 17 Cl | 18 Ar |
| 33 As | 34 Se | 35 Br | 36 Kr |
| 51 Sb | 52 Te | 53 I | 54 Xe |
| 83 Bi | 84 Po | 85 At | 86 Rn |

**الشكل 5-3** الغازاتُ النبيلةُ، المعروفةُ أيضًا بعناصرِ الزمرةِ 18، جميعُها غيرُ نشطة كيميائيًّا. وكما ستقرأ، فإن نشاطيتَها المنخفضة تبرِّرُ وضعَها في المكانِ الخاصِّ الذي تشغلُهُ في الجدولِ الدوريّ.

### اللانثنيدات

اكتملتِ الخطوةُ الأساسيةُ الأخرى في تطويرِ الجدولِ الدوريِّ في أوائلِ العام 1900، عندما أصبحَ لغزُ اللانثنيداتِ الكيميائيُّ مفهومًا. و**اللانثنيدات** Lanthanides هي 14 عنصرًا، أعدادُها الذريةُ من 58 (السيريوم Ce) إلى 71 (اللوتيتيوم Lu). ولأن خواصَّها الكيميائيةَ والفيزيائيةَ متشابهةٌ كثيرًا، استلزمَ تحديدُ هويتِها مجهودَ العديدِ

من الكيميائيين.

## الأكتينيدات

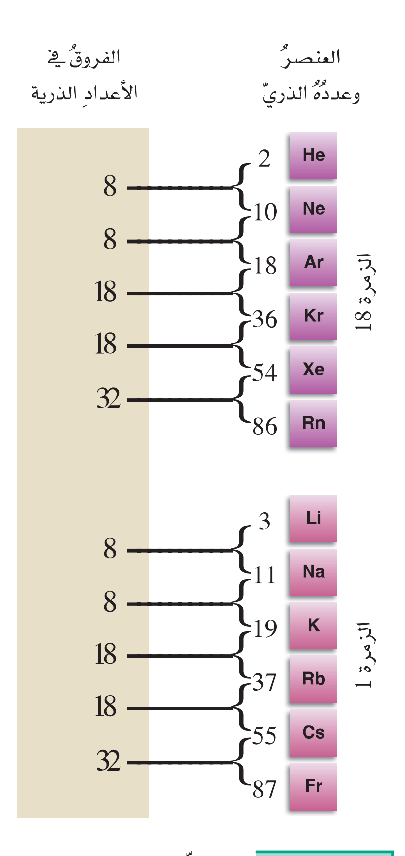
الخطوةُ الأساسيةُ الأخرى في تطويرِ الجدولِ الدوريِّ جاءتْ باكتشافِ الأكتينيدات. **الأكتينيدات** Actinides هي أيضًا زمرةٌ من 14 عنصرًا، وأعدادُها الذرية من 90 (الثوريوم) إلى 103 (اللورنسيوم). تنتمي اللانثنيداتُ والأكتينيداتُ إلى الدورتين 6 و 7 تباعًا، وتقعُ في الجدولِ الدوريِّ بين الزمرتين 3 و 4. ولتوفيرِ المساحة، وُضِعتْ اللانثنيداتُ والأكتينيداتُ تحت الجزءِ الأساسيِّ من الجدولِ الدوريّ، كما يظهرُ في **الشكل 5-6**.

## الدورية

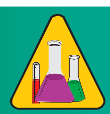
يمكنُ ملاحظةُ العلاقةِ بين «الدورية» والعددِ الذريِّ في أية زمرةٍ من العناصرِ في الجدولِ الدوريّ. خذِ الغازاتِ النبيلةَ في الزمرةِ 18. أولُ غازٍ نبيلٍ في هذه الزمرة هو الهيليوم He، وعددُه الذريُّ 2. وللعناصرِ التي تلي الهيليوم في مقدارِ العددِ الذريِّ خواصُّ مختلفة وصولاً إلى الغازِ النبيلِ التالي، وهو النيون، الذي يكونُ عددُهُ الذريُّ 10.

الغازاتُ النبيلةُ المتبقيةُ بحسبِ التصاعدِ في أعدادِها الذريةِ هي الأرجون (Ar، عددُهُ الذريُّ 18)، والكريبتون (Kr، عددُهُ الذريّ 36)، والزينون (Xe، عددُهُ الذريُّ 54) والرادون ( Rn ، عددُهُ الذريُّ 86 ). يُظهرُ **الشكل 5-4** الاختلافاتِ في العددِ الذريِّ بين الغازاتِ النبيلةِ المتعاقبة، كذلك يظهرُ الفروقاتِ في العددِ الذريِّ بين عناصرِ الزمرة 1، التي تتكونُ من معادنَ صلبةٍ وفضيةِ اللون. وكما هو واضحٌ إن الفروقاتِ في قيمِ الأعدادِ الذريةِ بين عناصرِ الزمرةِ 1 تتبعُ نمطَ الفروقاتِ نفسَهُ في قيمِ الأعدادِ الذريةِ بين الغازاتِ النبيلة.

بدءًا بالعناصرِ الأولى من الزمرِ 13-17، يتكرَّرُ نمطٌ متشابهٌ في الدورية. يزيدُ العددُ الذريُّ لكلٍّ من العناصرِ المتعاقبةِ على التوالي بمقدارِ 8، 8، 18، 18، 32. سترى في **القسم 5-2** لغزًا ثابتًا لجدولِ مندلييف، حيث فسَّرَ سببَ الدوريةِ عن طريقِ ترتيبِ الإلكتروناتِ حول النواة.




**الشكل 5-4** في كلٍّ من الزمرتين 1 و 18، الفرقُ في العددِ الذريِّ بين العناصرِ المتتابعة هو بالتتالي 8، 8، 18، 18، 32. الزمرُ 2 و 13 حتى 17 تتبعُ النمطَ نفسَه.



**نشاط عملي سريع**

# صمِّمْ جدولَكَ الدوريّ




ضعِ النظاراتِ الواقيةَ والبس المريول

**الموادُ**

- بطاقاتُ فهرسة

## السؤال

هل يمكنُكَ تصميمُ جدولٍ دوريٍّ خاصٍّ بك باستخدامِكَ معلوماتٍ شبيهةً بتلك التي توفرت لمندلييف؟

## الطريقة

1. اكتبِ المعلوماتِ المتوفرةَ حول كلِّ عنصرٍ على بطاقةٍ فهرسةٍ منفردة. المعلوماتُ التاليةُ ملائمة: حرفٌ من الأبجديةِ لتحديدِ كلِ عنصر (أ، ب، ج ...)، الكتلةُ الذرية، الحالة (صُلْبٌ أو سائلٌ أو غاز)، الكثافة، درجةُ الغليان، درجةُ الانصهار، وأي خاصيّةٍ فيزيائيةٍ يمكنُ أن تلاحظَها. لا تكتبِ اسمَ العنصر على بطاقةٍ فهرسة، بل احتفظْ بلائحةٍ منفردةٍ تحدِّدُ فيها الأحرفَ التي استعملتَها لتعيين كلِّ عنصر.
2. نظِّمْ بطاقاتِ العناصرِ بطريقةٍ منطقية، كما تتخيلُ تنظيمَ مندلييف لها.

## المناقشة

1. أجبْ عن السؤالينِ التاليين، مع التذكير بأن المعلوماتِ التي لديك مشابهةٌ للمعلوماتِ التي كانت متوافرةً لمندلييف عامَ 1869:
   أ. لماذا أُعطيتِ الكتلُ الذريةُ بدلاً من الأعدادِ الذرية؟
   ب. هل يمكنُكَ تحديدُ كلِّ عنصرٍ باسمه؟
2. كم زمرةً من العناصر، أو عائلاتِ العناصر، يوجدُ في الجدولِ الدوريّ؟ كم دورةً يوجدُ في الجدول؟
3. خمِّنْ ما هي خواصُّ العناصرِ غيرِ الموجودة. عند الانتهاءِ، تأكَّدْ من نتائجِك، مستخدمًا لائحةَ العناصرِ المنفردةِ التي حضَّرتَها والجدولَ الدوريّ.

## مراجعةُ القسم 1-5

1. أ. لمن يُنسبُ الفضلُ في تطويرِ الطريقةِ التي أدّتْ إلى تحديدِ معيارٍ نسبيٍّ للكتلِ الذرية؟
   ب. من اكتشفَ القانونَ الدوريّ ؟
   ج. من رسَّخَ اعتمادَ العددِ الذريِّ كأساسٍ لتنظيمِ الجدولِ الدوريّ؟
2. اذكرْ الصفات الدوريَّة للعناصر.
3. سمِّ ثلاثَ زمرٍ من العناصرِ أضيفتْ إلى الجدولِ الدوريِّ بعد مندلييف.
4. كيف يتغيرُ العددُ الذريُّ للعناصرِ في كلٍّ من الزمرِ التالية 1-2 و 13-18 من الجدولِ الدوريّ؟

## القســـم 2-5

### النواتجُ التعليمية

- يصفُ العلاقةَ بين الإلكترونات في تحتِ المستوياتِ وطولِ كلِّ دورةٍ في الجدولِ الدوريّ.
- يحدِّدُ موقعَ مجمَّعاتِ الجدولِ الدوريِّ الأربعة، ويوضح أسبابَ التسمية.
- يناقشُ العلاقةَ بين مواقعِ الزمرِ وأرقامِها.
- يربطُ بين مواقعِ الفِلِزَّاتِ القلوية، والقلويةِ الأرضية، والهالوجيناتِ والغازاتِ النبيلةِ في الجدولِ الدوريّ، ويذكرُ خواصَّها العامة.

# الترتيبُ الإلكترونيُّ والجدولُ الدوريّ

تخضعُ عناصرُ الزمرةِ 18 في الجدولِ الدوريّ (الغازاتُ النبيلة) لتفاعلاتٍ كيميائيةٍ قليلة. يعودُ هذا الاستقرارُ إلى خصوصيةِ الترتيباتِ الإلكترونيةِ لهذه الغازات. فالمستوى الأعلى المشغولُ للهيليوم هو $1s$، وهو ممتلئٌ بالكاملِ بالإلكترونات. أما المستوياتُ العليا المشغولةُ لبقيةِ الغازاتِ النبيلةِ فإنها تحتوي على ثمانيةِ إلكترونات (الاستقرارُ الثُّمانيّ). وبشكلٍ عامّ، يتحكمُ الترتيبُ الإلكترونيُّ لمستوى الطاقةِ الأعلى المشغولِ لأيِّ عنصرٍ في الخواصِّ الكيميائيةِ المميِّزةِ لذلك العنصر.

## دوراتُ ومجمَّعاتُ الجدولِ الدوريّ

تُرَتَّبُ العناصرُ في الجدولِ الدوريِّ عموديًّا في ما يُسمّى زمرًا تشتركُ في الخواصِّ الكيميائيةِ نفسِها، بينما هي تنتظمُ أفقيًّا في ما يُسمّى دورات (كما يظهرُ في **الشكل 6-5**). هناك سبعُ دوراتٍ للعناصرِ في الجدولِ الدوريِّ الحديث، يُحدِّد طولَ كلِّ دورةٍ، كما يَظهرُ في **الجدول 1-5**، عددُ الإلكتروناتِ التي يمكنُ أن تشغلَ تحتَ المستوياتِ التي تمَّ ملؤها في تلك الدورة.

في الدورةِ الأولى، يتشبَّعُ تحتُ المستوى الأولِ الذي يتسعُ لإلكترونين فقط. وبناءً عليه تحتوي الدورةُ الأولى على عنصرين فقط، هما: الهيدروجين والهيليوم. وفي الدورةِ الثانيةِ يتشبعُ تحتُ المستوى $2s$ بإلكترونين، وتحتُ المستوى $2p$ بستةِ إلكترونات. وبالتالي فإن الدورةَ الثانيةَ تحتوي على ثمانيةِ عناصر. وعلى هذا النحو يتشبعُ تحتُ المستوى $3s$ بإلكترونين، وتحتُ المستوى $3p$ بستةِ إلكترونات، وهو ما يجعلُ الدورةَ الثالثةَ من ثمانيةِ عناصر. إن تشبعَ تحتِ المستويين $3d$ و $4d$ بالإضافةِ إلى تحتِ المستويين $s$ و $p$، يزيدُ عشرةَ عناصرَ في كلٍّ من الدورتينِ الرابعةِ والخامسة. وبهذا يصبحُ عددُ العناصرِ

**الجدول 1-5** العلاقةُ بين طولِ الدورةِ وتحتِ المستوياتِ المملوءةِ في الجدولِ الدوري

| رقمُ الدورة | عددُ العناصرِ في الدورة | تحتُ المستويات حسبَ ترتيبِ امتلائها |
|---|---|---|
| 1 | 2 | $1s$ |
| 2 | 8 | $2s2p$ |
| 3 | 8 | $3s3p$ |
| 4 | 18 | $4s3d4p$ |
| 5 | 18 | $5s4d5p$ |
| 6 | 32 | $6s4f5d6p$ |
| 7 | 32 | $7s5f6d$ ...الخ |

الإجماليُّ لكلٍّ من هاتينِ الدورتينِ 18 عنصرًا. وتشبُّعُ تحتِ المستوى $4f$، إضافةً إلى المستوياتِ $s$، $p$، $d$، يزيدُ 14 عنصرًا في الدورةِ السادسة، فيصبحُ العددُ الإجماليُّ للعناصرِ 32. وعند ظهورِ عناصرَ جديدةٍ يزدادُ نظريًّا عددُ عناصرِ الدورةِ السابعةِ الـ 29 المعروفةِ ليبلغَ 32.

ويتمُّ التعرّفُ إلى الدورةِ التي يتواجدُ فيها العنصرُ عادةً من خلالِ ترتيبِه الإلكترونيّ. فمثلاً، لعنصرِ الزرنيخِ As الترتيبُ الإلكتروني $[Ar]3d^{10}4s^{2}4p^{3}$. الرقمُ 4 في الصيغةِ $4p^{3}$ يعني أن المستوى الرئيسَ الأعلى الذي تحتلُّهُ الإلكتروناتُ هو مستوى الطاقةِ الرابع، لذا يقعُ الزرنيخُ في الدورةِ الرابعة. ويمكنُ مشاهدةُ دورةِ العنصرِ وترتيبِه الإلكترونيَّ في الجدولِ الدوريِّ في الصفحات 122-123.

واعتمادًا على الترتيبِ الإلكترونيِّ للعناصر، يمكنُ تقسيمُ الجدولِ الدوريِّ إلى أربعةِ مجمَّعات هي $s$، $p$، $d$، $f$، كما يظهرُ في **الشكل 5-5**. ويمكنُ التعرُّفُ إلى اسمِ كلِّ مجمَّعٍ من خلالِ معرفةِ تحتِ المستوى الذي ينتهي به التوزيعُ الإلكترونيُّ لعناصرِه.

**الشكل 5-5** استنادًا إلى الترتيبِ الإلكترونيِّ للعناصرِ يُقسمُ الجدولُ الدوريُّ إلى أربعةِ مجمّعاتٍ بحسبِ تحتِ المستويات.

## مجمَّعاتُ تحتِ المستوياتِ للجدولِ الدوريّ

عناصرُ المجمَّع-$s$
عناصرُ المجمَّع-$p$
عناصرُ المجمَّع-$d$
عناصرُ المجمَّع-$f$

| الزمرة 1 | الزمرة 2 | الزمرة 3 | الزمرة 4 | الزمرة 5 | الزمرة 6 | الزمرة 7 | الزمرة 8 | الزمرة 9 | الزمرة 10 | الزمرة 11 | الزمرة 12 | الزمرة 13 | الزمرة 14 | الزمرة 15 | الزمرة 16 | الزمرة 17 | الزمرة 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 H | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He |
| 3 Li | 4 Be | | | | | | | | | | | 5 B | 6 C | 7 N | 8 O | 9 F | 10 Ne |
| 11 Na | 12 Mg | | | | | | | | | | | 13 Al | 14 Si | 15 P | 16 S | 17 Cl | 18 Ar |
| 19 K | 20 Ca | 21 Sc | 22 Ti | 23 V | 24 Cr | 25 Mn | 26 Fe | 27 Co | 28 Ni | 29 Cu | 30 Zn | 31 Ga | 32 Ge | 33 As | 34 Se | 35 Br | 36 Kr |
| 37 Rb | 38 Sr | 39 Y | 40 Zr | 41 Nb | 42 Mo | 43 Tc | 44 Ru | 45 Rh | 46 Pd | 47 Ag | 48 Cd | 49 In | 50 Sn | 51 Sb | 52 Te | 53 I | 54 Xe |
| 55 Cs | 56 Ba | 57 La | 72 Hf | 73 Ta | 74 W | 75 Re | 76 Os | 77 Ir | 78 Pt | 79 Au | 80 Hg | 81 Tl | 82 Pb | 83 Bi | 84 Po | 85 At | 86 Rn |
| 87 Fr | 88 Ra | 89 Ac | 104 Rf | 105 Db | 106 Sg | 107 Bh | 108 Hs | 109 Mt | 110 Uun | 111 Uuu | 112 Uub | 113 | 114 Uuq | 115 | 116 Uuh | 117 | 118 Uuo |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 58 Ce | 59 Pr | 60 Nd | 61 Pm | 62 Sm | 63 Eu | 64 Gd | 65 Tb | 66 Dy | 67 Ho | 68 Er | 69 Tm | 70 Yb | 71 Lu |
| 90 Th | 91 Pa | 92 U | 93 Np | 94 Pu | 95 Am | 96 Cm | 97 Bk | 98 Cf | 99 Es | 100 Fm | 101 Md | 102 No | 103 Lr |

# الجدولُ الدوريُّ للعناصر

**الفلزّات**
- الفلزاتُ القلوية
- الفلزاتُ القلويةُ الأرضية
- الفلزاتُ الانتقالية
- فلزاتٌ أخرى

**أشباهُ الفلزّات**
- أشباهُ الموصلات

**اللافلزّات**
- الهالوجينات
- اللافلزاتُ الأخرى
- الغازاتُ النبيلة

| الدورات | الزمرة 10 | الزمرة 11 | الزمرة 12 | الزمرة 13 | الزمرة 14 | الزمرة 15 | الزمرة 16 | الزمرة 17 | الزمرة 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | | | | 2<br>He<br>Helium<br>4.002602<br>$1s^{2}$ |
| 2 | | | | 5<br>B<br>Boron<br>10.811<br>$[He]2s^{2}2p^{1}$ | 6<br>C<br>Carbon<br>12.011<br>$[He]2s^{2}2p^{2}$ | 7<br>N<br>Nitrogen<br>14.00674<br>$[He]2s^{2}2p^{3}$ | 8<br>O<br>Oxygen<br>15.9994<br>$[He]2s^{2}2p^{4}$ | 9<br>F<br>Fluorine<br>18.9984032<br>$[He]2s^{2}2p^{5}$ | 10<br>Ne<br>Neon<br>20.1797<br>$[He]2s^{2}2p^{6}$ |
| 3 | | | | 13<br>Al<br>Aluminum<br>26.981539<br>$[Ne]3s^{2}3p^{1}$ | 14<br>Si<br>Silicon<br>28.0855<br>$[Ne]3s^{2}3p^{2}$ | 15<br>P<br>Phosphorus<br>30.9738<br>$[Ne]3s^{2}3p^{3}$ | 16<br>S<br>Sulfur<br>32.066<br>$[Ne]3s^{2}3p^{4}$ | 17<br>Cl<br>Chlorine<br>35.4527<br>$[Ne]3s^{2}3p^{5}$ | 18<br>Ar<br>Argon<br>39.948<br>$[Ne]3s^{2}3p^{6}$ |
| 4 | 28<br>Ni<br>Nickel<br>58.6934<br>$[Ar]3d^{8}4s^{2}$ | 29<br>Cu<br>Copper<br>63.546<br>$[Ar]3d^{10}4s^{1}$ | 30<br>Zn<br>Zinc<br>65.39<br>$[Ar]3d^{10}4s^{2}$ | 31<br>Ga<br>Gallium<br>69.723<br>$[Ar]3d^{10}4s^{2}4p^{1}$ | 32<br>Ge<br>Germanium<br>72.61<br>$[Ar]3d^{10}4s^{2}4p^{2}$ | 33<br>As<br>Arsenic<br>74.92159<br>$[Ar]3d^{10}4s^{2}4p^{3}$ | 34<br>Se<br>Selenium<br>78.96<br>$[Ar]3d^{10}4s^{2}4p^{4}$ | 35<br>Br<br>Bromine<br>79.904<br>$[Ar]3d^{10}4s^{2}4p^{5}$ | 36<br>Kr<br>Krypton<br>83.80<br>[Ar]3d104s24p6 |
| 5 | 46<br>Pd<br>Palladium<br>106.42<br>$[Kr]4d^{10}5s^{0}$ | 47<br>Ag<br>Silver<br>107.8682<br>$[Kr]4d^{10}5s^{1}$ | 48<br>Cd<br>Cadmium<br>112.411<br>$[Kr]4d^{10}5s^{2}$ | 49<br>In<br>Indium<br>114.818<br>$[Kr]4d^{10}5s^{2}5p^{1}$ | 50<br>Sn<br>Tin<br>118.710<br>$[Kr]4d^{10}5s^{2}5p^{2}$ | 51<br>Sb<br>Antimony<br>121.757<br>$[Kr]4d^{10}5s^{2}5p^{3}$ | 52<br>Te<br>Tellurium<br>127.60<br>$[Kr]4d^{10}5s^{2}5p^{4}$ | 53<br>I<br>Iodine<br>126.904<br>$[Kr]4d^{10}5s^{2}5p^{5}$ | 54<br>Xe<br>Xenon<br>131.29<br>$[Kr]4d^{10}5s^{2}5p^{6}$ |
| 6 | 78<br>Pt<br>Platinum<br>195.08<br>$[Xe]4f^{14}5d^{9}6s^{1}$ | 79<br>Au<br>Gold<br>196.96654<br>$[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^{1}$ | 80<br>Hg<br>Mercury<br>200.59<br>$[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^{2}$ | 81<br>Tl<br>Thallium<br>204.3833<br>$[Xe]4f^{14}5d^{10}6p^{1}$ | 82<br>Pb<br>Lead<br>207.2<br>$[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^{2}6p^{2}$ | 83<br>Bi<br>Bismuth<br>208.98037<br>$[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^{2}6p^{3}$ | 84<br>Po<br>Polonium<br>(208.9824)<br>$[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^{2}6p^{4}$ | 85<br>At<br>Astatine<br>(209.9871)<br>$[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^{2}6p^{5}$ | 86<br>Rn<br>Radon<br>(222.0176)<br>$[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^{2}6p^{6}$ |
| 7 | 110<br>Uun*<br>Ununnilium<br>(269)**<br>$[Rn]5f^{14}6d^{9}7s^{1}$ | 111<br>Uuu*<br>Unununium<br>(272)**<br>$[Rn]5f^{14}6d^{10}7s^{1}$ | 112<br>Uub*<br>Ununbium<br>(277)**<br>$[Rn]5f^{14}6d^{10}7s^{2}$ | 113 | 114<br>Uuq*<br>Ununquadium<br>(285)**<br>$[Rn]5f^{14}6d^{10}7s^{2}7p^{2}$ | 115 | 116<br>Uuh*<br>Ununhexium<br>(289)**<br>$[Rn]5f^{14}6d^{10}7s^{2}7p^{4}$ | 117 | 118<br>Uuo*<br>Ununoctium<br>(293)**<br>$[Rn]5f^{14}6d^{10}7s^{2}7p^{6}$ |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 63<br>Eu<br>Europium<br>151.966<br>$[Xe]4f^{7}6s^{2}$ | 64<br>Gd<br>Gadolinium<br>157.25<br>$[Xe]4f^{7}5d^{1}6s^{2}$ | 65<br>Tb<br>Terbium<br>158.92534<br>$[Xe]4f^{9}6s^{2}$ | 66<br>Dy<br>Dysprosium<br>162.50<br>$[Xe]4f^{10}6s^{2}$ | 67<br>Ho<br>Holmium<br>164.930<br>$[Xe]4f^{11}6s^{2}$ | 68<br>Er<br>Erbium<br>167.26<br>$[Xe]4f^{12}6s^{2}$ | 69<br>Tm<br>Thulium<br>168.93421<br>$[Xe]4f^{13}6s^{2}$ | 70<br>Yb<br>Ytterbium<br>173.04<br>$[Xe]4f^{14}6s^{2}$ | 71<br>Lu<br>Lutetium<br>174.967<br>$[Xe]4f^{14}5d^{1}6s^{2}$ |
| 95<br>Am<br>Americium<br>(243.0614)<br>$[Rn]5f^{7}7s^{2}$ | 96<br>Cm<br>Curium<br>(247.0703)<br>$[Rn]5f^{7}6d^{1}7s^{2}$ | 97<br>Bk<br>Berkelium<br>(247.0703)<br>$[Rn]5f^{9}7s^{2}$ | 98<br>Cf<br>Californium<br>(251.0796)<br>$[Rn]5f^{10}7s^{2}$ | 99<br>Es<br>Einsteinium<br>(252.083)<br>$[Rn]5f^{11}7s^{2}$ | 100<br>Fm<br>Fermium<br>(257.0951)<br>$[Rn]5f^{12}7s^{2}$ | 101<br>Md<br>Mendelevium<br>(258.10)<br>$[Rn]5f^{13}7s^{2}$ | 102<br>No<br>Nobelium<br>(259.1009)<br>$[Rn]5f^{14}7s^{2}$ | 103<br>Lr<br>Lawrencium<br>262.11<br>$[Rn]5f^{14}6d^{1}7s^{2}$ |

**الشكل 5-6** العناصرُ في الجدولِ الدوريِّ الشائع، مرتّبةَ في زمرٍ عموديةٍ ودوراتٍ أفقية.



**الدليل:**

| 6<br>C<br>Carbon<br>12.011<br>$[He]2s^{2}2p^{2}$ | |
|---|---|
| 6 | العددُ الذرّي |
| C | الرمز |
| Carbon | الاسم |
| 12.011 | متوسطُ الكتلةِ الذرية |
| $[He]2s^{2}2p^{2}$ | الترتيبُ الإلكترونيّ |

| الدورات | الزمرة 1 | الزمرة 2 | الزمرة 3 | الزمرة 4 | الزمرة 5 | الزمرة 6 | الزمرة 7 | الزمرة 8 | الزمرة 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1<br>H<br>Hydrogen<br>1.00794<br>$1s^{1}$ | | | | | | | | |
| 2 | 3<br>Li<br>Lithium<br>6.941<br>$[He]2s^{1}$ | 4<br>Be<br>Beryllium<br>9.012182<br>$[He]2s^{2}$ | | | | | | | |
| 3 | 11<br>Na<br>Sodium<br>22.989768<br>$[Ne]3s^{1}$ | 12<br>Mg<br>Magnesium<br>24.3050<br>$[Ne]3s^{2}$ | | | | | | | |
| 4 | 19<br>K<br>Potassium<br>39.0983<br>$[Ar]4s^{1}$ | 20<br>Ca<br>Calcium<br>40.078<br>$[Ar]4s^{2}$ | 21<br>Sc<br>Scandium<br>44.955910<br>$[Ar]3d^{1}4s^{2}$ | 22<br>Ti<br>Titanium<br>47.88<br>$[Ar]3d^{2}4s^{2}$ | 23<br>V<br>Vanadium<br>50.9415<br>$[Ar]3d^{3}4s^{2}$ | 24<br>Cr<br>Chromium<br>51.9961<br>$[Ar]3d^{5}4s^{1}$ | 25<br>Mn<br>Manganese<br>54.93805<br>$[Ar]3d^{5}4s^{2}$ | 26<br>Fe<br>Iron<br>55.847<br>$[Ar]3d^{6}4s^{2}$ | 27<br>Co<br>Cobalt<br>58.93320<br>$[Ar]3d^{7}4s^{2}$ |
| 5 | 37<br>Rb<br>Rubidium<br>85.4678<br>$[Kr]5s^{1}$ | 38<br>Sr<br>Strontium<br>87.62<br>$[Kr]5s^{2}$ | 39<br>Y<br>Yttrium<br>88.90585<br>$[Kr]4d^{1}5s^{2}$ | 40<br>Zr<br>Zirconium<br>91.224<br>$[Kr]4d^{2}5s^{2}$ | 41<br>Nb<br>Niobium<br>92.90638<br>$[Kr]4d^{4}5s^{1}$ | 42<br>Mo<br>Molybdenum<br>95.94<br>$[Kr]4d^{5}5s^{1}$ | 43<br>Tc<br>Technetium<br>(97.9072)<br>$[Kr]4d^{6}5s^{1}$ | 44<br>Ru<br>Ruthenium<br>101.07<br>$[Kr]4d^{7}5s^{1}$ | 45<br>Rh<br>Rhodium<br>102.906<br>$[Kr]4d^{8}5s^{1}$ |
| 6 | 55<br>Cs<br>Cesium<br>132.90543<br>$[Xe]6s^{1}$ | 56<br>Ba<br>Barum<br>137.327<br>$[Xe]6s^{2}$ | 57<br>La<br>Lanthanum<br>138.9055<br>$[Xe]5d^{1}6s^{2}$ | 72<br>Hf<br>Hafnium<br>178.49<br>$[Xe]4f^{14}5d^{2}6s^{2}$ | 73<br>Ta<br>Tantalum<br>180.9479<br>$[Xe]4f^{14}5d^{3}6s^{2}$ | 74<br>W<br>Tungsten<br>183.84<br>$[Xe]4f^{14}5d^{4}6s^{2}$ | 75<br>Re<br>Rhenium<br>186.207<br>$[Xe]4f^{14}5d^{5}6s^{2}$ | 76<br>Os<br>Osmium<br>190.23<br>$[Xe]4f^{14}5d^{6}6s^{2}$ | 77<br>Ir<br>Iridium<br>192.22<br>$[Xe]4f^{14}5d^{7}6s^{2}$ |
| 7 | 87<br>Fr<br>Francium<br>(223.0197)<br>$[Rn]7s^{1}$ | 88<br>Ra<br>Radium<br>(226.0254)<br>$[Rn]7s^{2}$ | 89<br>Ac<br>Actinium<br>(227.0278)<br>$[Rn]6d^{1}7s^{2}$ | 104<br>Rf<br>Rutherfordium<br>(261.11)<br>$[Rn]5f^{14}6d^{2}7s^{2}$ | 105<br>Db<br>Dubnium<br>(262.114)<br>$[Rn]5f^{14}6d^{3}7s^{2}$ | 106<br>Sg<br>Seaborgium<br>(263.118)<br>$[Rn]5f^{14}6d^{4}7s^{2}$ | 107<br>Bh<br>Bohrium<br>(262.12)<br>$[Rn]5f^{14}6d^{5}7s^{2}$ | 108<br>Hs<br>Hassium<br>(265)**<br>$[Rn]5f^{14}6d^{6}7s^{2}$ | 109<br>Mt<br>Meitnerium<br>(265)**<br>$[Rn]5f^{14}6d^{7}7s^{2}$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 58<br>Ce<br>Cerium<br>140.115<br>$[Xe]4f^{1}5d^{1}6s^{2}$ | 59<br>Pr<br>Praseodymium<br>140.908<br>$[Xe]4f^{3}6s^{2}$ | 60<br>Nd<br>Neodymium<br>144.24<br>$[Xe]4f^{4}6s^{2}$ | 61<br>Pm<br>Promethium<br>(144.9127)<br>$[Xe]4f^{5}6s^{2}$ | 62<br>Sm<br>Samarium<br>150.36<br>$[Xe]4f^{6}6s^{2}$ |
| 90<br>Th<br>Thorium<br>232.0381<br>$[Rn]6d^{2}7s^{2}$ | 91<br>Pa<br>Protactinium<br>231.03588<br>$[Rn]5f^{2}6d^{1}7s^{2}$ | 92<br>U<br>Uranium<br>238.0289<br>$[Rn]5f^{3}6d^{1}7s^{2}$ | 93<br>Np<br>Neptunium<br>(237.0482)<br>$[Rn]5f^{4}6d^{1}7s^{2}$ | 94<br>Pu<br>Plutonium<br>244.0642<br>$[Rn]5f^{6}7s^{2}$ |

* أسماءٌ مؤقتةٌ لم يتمَّ التوافُق عليها من قبلِ IUPAC

** مقدّرةٌ وفقًا لمعطياتِ IUPAC المتوفرةِ حاليًّا

الكتلُ الذرّيةُ المبيَّنةُ في الجدولِ تعكسُ القياساتِ الدقيقةَ الحالية. والقيمُ الموضوعةُ بين قوسين هي للعنصرِ الأكثرِ استقرارًا أو النظيرِ الأكثرِ شيوعًا، مع ذلك قرِّبتْ حساباتُ الكتلةِ الذرية في هذا الكتابِ إلى رقمين عن يمينِ الفاصلةِ العشرية.

## عناصرُ المجمَّع -$s$: الزمرتانِ 1 و 2

عناصرُ هذا المجمَّعِ هي فلزّاتٌ نشِطةٌ كيميائيًّا. تعتبرُ فلزاتُ الزمرةِ 1 أكثرَ نشاطًا من فلزاتِ الزمرة 2، ومستوى الطاقةِ الأبعدُ في ذرةِ كلِّ عنصرٍ من هذه الزمرةِ يحتوي على إلكترونٍ فريدٍ في تحتِ المستوى $s$. فالترتيبُ الإلكترونيُّ لليثيوم والصوديوم، مثلاً، هو على التوالي $[He]2s^1$ و $[Ne]3s^1$. وستتعلّمُ في **القسم 5-3** أن سهولةَ فَقْدِ هذا الإلكترونِ الفريد تساعدُ في جعلِ فلزّاتِ الزمرةِ 1 بالغةَ النشاطية. وباستعمالِ $n$ كرقمٍ لأعلى مستوى طاقةٍ يشغلُهُ الإلكترون، تكتبُ الترتيباتُ الإلكترونيةُ الخارجيةُ أو ترتيباتُ عناصرِ الزمرتين 1 و 2 على شكلِ $ns^1$ و $ns^2$ على التوالي.

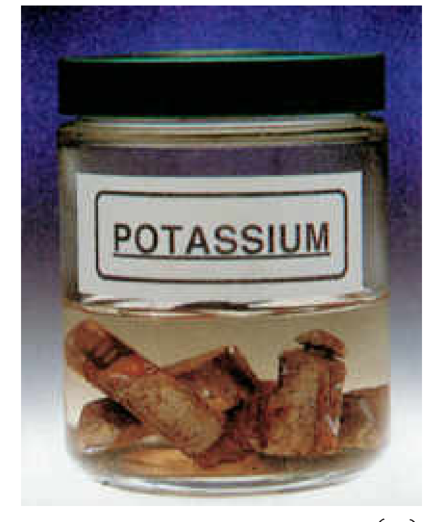
تُسمّى عناصرُ الزمرةِ 1 في الجدولِ الدوريِّ (الليثيوم، الصوديوم، البوتاسيوم، الروبيديوم، السيزيوم، الفرنسيوم) باسم **الفلزّات القلويّة** alkali metals. وتظهرُ هذه العناصرُ في حالتِها النقية بلونٍ فضِّيّ، وهي طريةٌ يمكنُ قطعُها بسكين. ولأنها نشطةٌ جدًّا لا توجد في الطبيعةِ كعناصرَ منفردة، كما أنها تتحدُ بشدةٍ مع معظمِ اللافلزّات، وتتفاعلُ بشدة مع الماءِ لتنتجَ غازَ الهيدروجين ومحاليلَ مائيةً تُسمّى القلويات. وبسببِ تفاعلِها الشديدِ مع الهواءِ أو الرطوبة، تُحفَظُ هذه الفلزاتُ القلويةُ عادةً في الكيروسين. وعند النزولِ عموديًّا في الجدولِ الدوريِّ، نرى أن درجةَ انصهارِ عناصرِ الزمرةِ 1 تتناقصُ بالتتابع. وللفلزّاتِ القلويةِ درجاتُ انصهارٍ منخفضة، كما أن كثافةَ الليثيوم (Li)، والصوديوم (Na)، والبوتاسيوم (K) هي أقلُّ من كثافةِ الماء.

تُعرفُ عناصرُ الزمرةِ 2 في الجدولِ الدوريّ، وهي البريليوم، والمغنيسيوم، والكالسيوم، والسترونشيوم والباريوم، والراديوم، باسمِ **الفلزّات القلويةِ الأرضية** alkaline-earth metals. وتحتوي ذراتُها على زوجٍ من الإلكتروناتِ في تحتِ المستوى الأبعد -$s$، لذلك ترتيبُ الزمرةِ 2 يكونُ $ns^2$. إن فلزّاتِ الزمرةِ 2 أصلبُ وأكثرُ كثافةً وأقسى من الفلزّاتِ القلوية، ولديها درجاتُ انصهارٍ أعلى. والفلزّاتُ الأرضيةُ، على الرغمِ من أنَّها أقلُّ نشاطًا من الفلزّاتِ القلوية، هي عناصرُ تمتازُ بدرجةٍ عاليةٍ من النشاطية، ولذلك لا توجدُ في الطبيعةِ كعناصرَ منفردة.

### الهيدروجين والهيليوم

لنأخذْ، قبل مناقشةِ مجمّعاتِ الجدولِ الدوريِّ الأخرى، حالتينِ خاصّتينِ من تصنيفِ العناصر، هما حالتا الهيدروجين والهيليوم. للهيدروجين الترتيبُ الإلكترونيُّ $1s^1$. وبرغمِ هذا الترتيب الذي يَتبع الصيغةَ $ns^1$، لا يشتركُ الهيدروجين مع عناصرِ الزمرةِ 1 في

(أ)




(ب)

**الشكل 5-7** (أ) كباقي الفلزّاتِ القلويةِ، يتفاعلُ البوتاسيوم بشدة مع الماء. (ب) لذا يجبُ حفظُهُ في الكيروسين أو النفط، لمنعِهِ من التفاعلِ مع رطوبةِ الهواء.

(أ)



(ب)

**الشكل 5-8** الكالسيوم من الفلزات القلويةِ الأرضية. (أ) هو كثيرُ التفاعل، حتى أنه لا يوجدُ في الطبيعةِ بحالةٍ نقية. (ب) يوجدُ في مركّباتٍ وخاماتٍ كلسيةٍ كالتي يتكوّنُ منها الرخام.

الخواصِّ نفسِها. وبالرغمِ من أنه موضوعٌ في أعلى عناصرِ الزمرة 1 في عدةِ جداولَ دورية، فإنه عنصرٌ فريد، وخواصُّهُ لا تتشابهُ مع خواصِّ أيِّ زمرةٍ من زمرِ الجدولِ الدوريّ.

وكبقيةِ عناصرِ الزمرةِ 2، ترتيبُ الهيليوم هو ترتيبُ الزمرةِ $ns^2$، ومع ذلك هو جزءٌ من الزمرةِ 18. ولأن مستوى الطاقةِ الأعلى المشغولَ للهيليوم يمتلىءُ بإلكترونين، فهو يمتلكُ استقرارًا كيميائيًّا خاصًّا، مُظهرًا بذلك الطبيعةَ غيرَ النشطةِ كعنصرٍ من عناصرِ الزمرةِ 18. وبعكسِ الهيليوم لا تمتلكُ فلزّاتُ الزمرةِ 2 استقرارًا خاصًّا، فمستوى الطاقةِ الأعلى المشغولُ لدى فلزّاتها ليس ممتلئًا، وذلك لحيازتِها على تحتِ مستوى $p$ فارغ.

## مسألةٌ نموذجية 5-1

أ. بيِّنْ من دونِ الرجوعِ إلى الجدولِ الدوريِّ، الزمرةَ والدورةَ والمجمَّعَ لعنصرٍ ترتيبُهُ الإلكترونيّ $[Xe]6s^2$.

ب. اكتبْ، من دونِ الرجوعِ إلى الجدولِ الدوريّ، الترتيبَ الإلكترونيَّ لعنصرٍ في الدورةِ الثالثةِ من الزمرةِ 1. هل هذا العنصرُ أكثرُ أم أقلُّ نشاطًا من العنصرِ الموصوفِ في السؤالِ (أ)؟

### الحلّ

أ. العنصرُ موجودٌ في الزمرةِ 2، كما هو مبيَّنٌ في ترتيبِ الزمرةِ $ns^2$. وهو في الدورةِ السادسة، كما يشيرُ العددُ 6 الذي يدُلُّ على رقمِ مستوى الطاقةِ الرئيس 6. والعنصرُ هو من المجمَّعِ s. لأن ترتيبَهُ الإلكترونيَّ ينتهي بتحتِ المستوى $s$.

ب. مستوى الطاقةِ الأعلى المشغولُ لعنصرٍ من الدورةِ الثالثةِ هو مستوى الطاقةِ الرئيسُ الثالث، $n = 3$. وتحتُ المستويات $1s$، $2s$، $2p$ تكون مشغولةً بالكامل (انظر **الجدول 5-1**). الترتيبُ الإلكترونيُّ لعنصرٍ من الزمرةِ 1 هو $ns^1$. وهذا يدلُّ على وجودِ إلكترونٍ واحدٍ فقط في تحتِ المستوى $s$. ويصبحُ لهذا العنصرِ الترتيبُ الإلكترونيُّ: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ أو $[Ne]3s^1$.
هذا العنصرُ من الزمرةِ 1 (الفلزّاتُ القلوية)، لذلك هو أكثرُ نشاطًا من العنصرِ الموصوفِ في السؤالِ (أ)، الذي هو من الزمرةِ 2 (الفلزّاتُ القلويةُ الأرضية).

## تمارينُ تطبيقية

**1.** دونَ الرجوعِ إلى الجدولِ الدوريّ، حدّدِ الزمرةَ والدورةَ والمجمَّعَ التي يقعُ فيها عنصرٌ ترتيبُهُ الإلكترونيُّ $[Kr]\ 5s^1$.

**2.** أ. دونَ النظرِ إلى الجدولِ الدوريّ، اكتبِ الترتيبَ الإلكترونيَّ لعناصرِ الزمرة 2.

ب. اكتب، دونَ الرجوعِ إلى الجدولِ الدوريّ، الصيغةَ الكاملةَ للترتيبِ الإلكترونيِّ لعنصرٍ في الدورةِ الرابعةِ من الزمرة 2.

ج. عدْ إلى **الشكل 5-6** لتحديدِ هويةِ العنصرِ الموصوفِ في السؤالِ (أ). ثم اكتبْ ترميزَ الغازِ النبيلِ لهذا العنصر.

د. قارنْ بين تفاعلِ العنصرِ في السؤالِ (أ) وبين تفاعلِ عنصرٍ من الزمرةِ 1 في الدورةِ نفسِها.

**الأجوبة:**

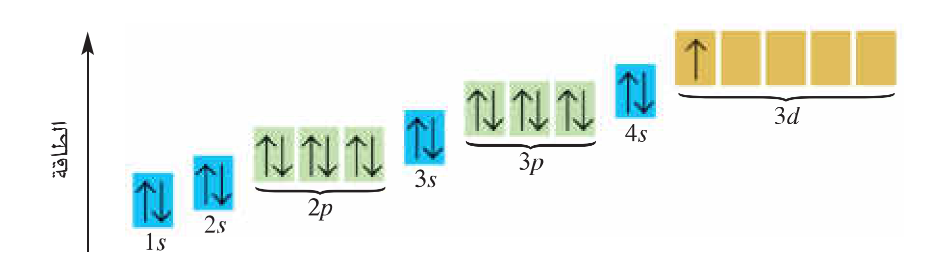
**1.** الزمرةُ 1، والدورةُ الخامسة، والمجمَّع $s$.

**2.** أ. $ns^2$

ب. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$

ج. Ca، $[Ar]4s^2$

د. العنصرُ هو في الزمرةِ 2، وعناصرُ الزمرةِ 2 أقلُّ نشاطًا من عناصرِ الزمرةِ 1 في الدورةِ نفسِها.




**الشكل 5-9** يُظهرُ الشكلُ البيانيُّ الترتيبَ الإلكترونيَّ للسكانديوم (Sc)، وهو عنصرُ الزمرةِ 3 في الدورةِ الثالثة. وبشكلٍ عامّ، يُشْغَلُ تحتُ المستوى $d$ (n-1) في الزمر 3-12 بالإلكترونات بعد أن يمتلئَ تحتُ المستوى $ns$.

## عناصرُ المجمَّع -$d$ : الزمرُ 3-12

في عناصرِ المجمَّعِ -$d$ (الزمرُ 3-12) يبدأُ مَلْءُ تحتِ المستوى $d$ عندما تكونُ $n = 3$، حيث يبدأُ ملءُ تحتِ المستوى $3d$ بعد ملءِ تحتِ المستوى $4s$ (لاحظِ **الشكل 5-9**).

يحتوي كلُّ تحتِ مستوى $d$ على خمسةِ أوربتالات، وذلك يعني أنه يُشبَعُ بعشرةِ إلكترونات. بالإضافةِ إلى إلكترونَيِّ $ns$ في الزمرة 2، كلُّ ذرةٍ من ذراتِ الزمرةِ 3 لديها إلكترونٌ واحدٌ في تحتِ المستوى $d$ لمستوى الطاقة $(n - 1)$. لذلك فإن الترتيبَ الإلكترونيَّ للزمرةِ 3 هو $(n - 1)\ d^1ns^2$. تُضافُ تسعةُ إلكتروناتٍ أخرى إلى تحتِ المستوى $d$ في كلِّ دورة، فيصبحُ لدى ذراتِ عناصرِ الزمرةِ 12 عشرةُ إلكتروناتٍ في تحتِ المستوى $d$، بالإضافةِ إلى إلكترونين في تحتِ المستوى $ns$. عندئذٍ يصبحُ للزمرةِ 12 الترتيبُ الإلكترونيُّ $(n - 1)\ d^{10}ns^2$.

لدى مراجعتِكَ للفصلِ الرابع، تجدُ بعضَ الانحرافاتِ عن طريقةِ الملءِ المتسلسلِ لتحتِ المستوى $d$ في الزمرِ 4-11. وفي النتيجةِ زمرُ العناصرِ في المجمَّعِ -$d$، بخلافِ العناصرِ في المجمَّعِ -$s$ والمجمَّعِ -$p$، لا تحتوي على ترتيباتٍ إلكترونيةٍ خارجيةٍ متشابهة. وعلى سبيلِ المثال، في الزمرةِ 10 يكونُ للنيكل (Ni) الترتيبُ الإلكترونيُّ $[Ar]3d^85s^2$، وللبلاديوم (Pd) الترتيبُ الإلكترونيُّ $[Kr]4d^{10}5s^0$. وللبلاتين (Pt) الترتيبُ الإلكترونيُّ $[Xe]4f^{14}5d^96s^1$. لاحظْ أنه في كلِّ حالةٍ يصبحُ مجموعُ إلكتروناتِ $s$ و $d$ الخارجيةِ مساويًا لرقمِ الزمرة، وهذا صحيحٌ بالنسبةِ لكلِّ عنصرٍ من عناصرِ المجمَّع -$d$ ضمنَ الزمرةِ نفسِها.

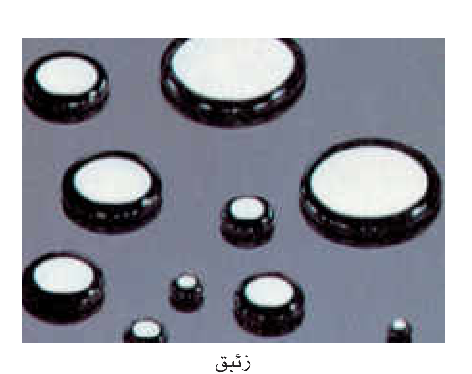
إن عناصرَ المجمَّع -$d$ فلزِّيةٌ ذاتُ خواصَّ نموذجية، وتُسمّى في الغالب **العناصرَ الانتقالية** transition elements. هذه العناصرُ موصلةٌ جيدةٌ للكهرباء، وذاتُ لمعانٍ بالغ، وهي أقلُّ نشاطًا من الفلزّاتِ القلويةِ والفلزّاتِ القلويةِ الأرضيةِ إلى حدٍّ بعيد. وبعضُ هذه العناصرِ منخفضةُ النشاطيةِ إلى درجةِ أنها لا تكوِّنُ مركَّباتٍ بسهولة، وتكونُ بذلك متواجدةً في الطبيعةِ كعناصرَ منفردة. البلاديوم، والبلاتين، والذهب، تُعَدُّ من العناصرِ الأقلِّ نشاطًا. تظهرُ بعضُ عناصرِ المجمَّع -$d$ في **الشكل 5-10**.

**الشكل 5-10** الزئبقُ والتنجستين والفناديوم هي عناصرُ انتقالية. عيِّنْ مواقعَها في المجمَّع-$d$ للجدولِ الدوريّ.



فناديوم

تنجستين



زئبق



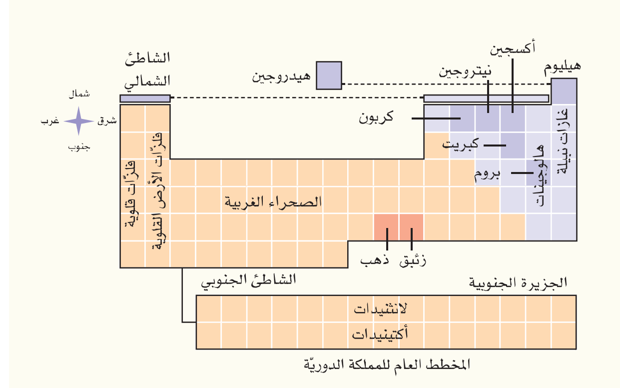
## قراءةٌ علمية

# المملكةُ البرِّيّة

**من كتابِ المملَكة الدورية: رحلةٌ في عالمِ العناصرِ الكيميائيةِ لمؤلِّفِه ب. دبليو أتكنز.**

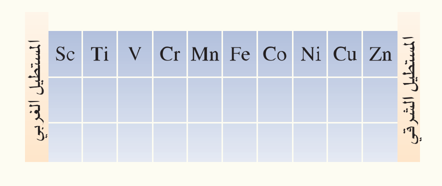
أرحِّبُ بكم في المملكةِ الدورية... أرض الخيالِ التي تبدو أقربَ إلى الواقعِ مما هي عليه فعلاً. إنها مملكةُ العناصرِ الكيميائية، تلك الموادُّ التي يتكونُ منها كلُّ شيءٍ ملموس. وهي ليستْ بلدًا شاسعًا مترامِيَ الأطراف، بل مملكةٌ محدودةٌ لا يزيدُ عددُ مناطقِها عن مئةٍ تقريبًا. ولكنها مسؤولةٌ عن كلِّ ما هو ماديٌّ في عالمِنا الحقيقيّ. ومن العناصرِ المئة، محورِ قصتِنا الحالية، تتكونُ الكواكبُ والصخور، والثمارُ والأحياء... وغيرُها. فهذه العناصرُ هي أساسُ الهواءِ، والماءِ، والأرضِ نفسِها، فنحنُ نقفُ على هذه العناصرِ، ونقتاتُ بها، بل نحنُ أنفسُنا مكونونَ منها. وبما أن أدمغتَنا مكوَّنةٌ من هذه العناصرِ أصلاً، فما يتمخضُ عنها من آراءٍ هو إلى حدٍّ ما من خواصِّها وقيمِها. وبذا هي من رعايا هذه المملكةِ الفريدةِ وأبنائِها.

وإذا اقتربنا من هذه المملكة، نستطيعُ أن نتلمسَ ملامحَ مختلفةً لهذه المملكةِ الجميلة. فهنالك المناطقُ المتألقةُ اللمّاعةُ المكوَّنةُ من الفلزات، وهي تضطجعُ جنبًا إلى جنبٍ مع مناطقِ جذبٍ هي ما سندعوهُ الصحراءَ الغربية. الصحراءُ الغربيةُ هذه قليلةُ الانتظام، تكادُ تخلو من ظلالٍ إلا ما ندر، مع تنوعٍ واضحٍ في الخواصّ. وفي هذا الخِضَمِّ من الصحراءِ المتراميةِ نجدُ لمساتٍ واهنةً من ألوانٍ هنا وهناك، يمثِّلها ألقُ الذهبِ المعروف، ولونُ النحاسِ الخجول. إنه لمن العجبِ أن تحتلَّ جُلَّ أراضي هذه المملكةِ صحراء، وتبقى قادرةً على أن تمدَّ العالمَ الحقيقيَّ من حولنا بهذا المدِّ من الرِّفاه. وعلى العموم فقد اكتُشِفت الصحراءُ الغربيةُ واستُغِلَّت من الشرقِ إلى الغرب، بمعنى أن الصناعةَ والتقنيةَ استفادتا منها كثيرًا. فالنحاسُ ألغى الحجرَ ليدخلَ عصرُ البرونز. وعندما توغَّلَ المكتشفونَ غربًا مستخدمينَ وسائلَ أكثرَ قدرةً واجهَهُمُ الحديدُ فطوعوهُ لتصنيعِ أسلحةٍ أكثرَ فاعلية. وعندما حَصَلَتِ الدولُ الأقوى على حريتِها بعد الاضطهادِ المستمرّ، زادت فرصُها للتعلمِ ومراكمةِ المعرفة. وهذا بدورِهِ أعطى المكتشفينَ قدرةَ النفاذِ إلى مسافاتٍ أعمقَ في مناطقِ الصحراءِ الغربية.



المخطط العام للمملكة الدوريّة

في عمقِ الصحراءِ الغربية، وفي منطقةٍ واسعةٍ تبدأُ بالخارصين من الشرقِ وتنتهي بالسكانديوم في الغرب، وجدَ المستكشفونَ مصادفةً التيتانيوم، وهي لُقْيةٌ ثمينةٌ حقّا. فللتيتانيوم تلك الخواصُّ التي يتطلعُ إليها المجتمعُ في طموحِهِ لتقنيةٍ رفيعة. وعلى الرغم من أنه فلزٌّ صلدٌ، يقاومُ التآكل، إلا إنه خفيفٌ جدًّا ونمطيٌّ في منطقةِ الصحراءِ الغربية. ويتحالف التيتانيوم مع الحديدِ في ما يسمى الحديدَ المطاوعَ الذي ساعدَنا في تقطيعِ الصخورِ والبناءِ على مساحاتٍ شاسعة.




### قراءةٌ إضافية

أشارَ أتكنز إلى أن للتيتانيوم خواصَّ مناسبةً جدًّا لمجتمعاتِ التقنيةِ الرفيعة. حاوِلْ أن تتقصّى معلوماتٍ عن كيفيةِ حصولنا على التيتانيوم، واذكرْ خمسَ طرقٍ لاستخدامِهِ في مجتمعنا.

**مسألةٌ نموذجية 2-5**

**حدِّدْ، من دونِ الرجوعِ إلى الجدولِ الدوريّ، الدورةَ والمجمَّعَ والزمرةَ التي يوجدُ فيها عنصرٌ له الترتيبُ الإلكتروني $[Kr]4d^55s^1$، ثم استخدمِ الجدولَ لتحديدِ هويةِ هذا العنصرِ وباقي العناصرِ في الزمرة.**

**الحلّ**

رقمُ مستوى الطاقةِ الأعلى المشغولُ هو 5، لذلك فالعنصرُ موجودٌ في الدورةِ الخامسة. وهناك خمسةُ إلكتروناتٍ في تحت المستوى $d$. هذا يعني أن تحتَ المستوى $d$ ليس مشغولاً بالكامل، لأنه يستوعبُ 10 إلكترونات، ويعني أيضًا أن العنصرَ يقعُ في المجمَّعِ $d$–. وبالنسبةِ لعناصرِ المجمَّعِ $d$ يكونُ مجموعُ الإلكتروناتِ في تحتِ المستوى $ns$ (1) وعددُ الإلكترونات في تحت المستوى $(n - 1)\ d$ (5) مساويًا لرقم الزمرة (6). وهذه هي عناصرُ الزمرةِ 6 في الدورة الخامسة. العنصر هو «الموليبدنيوم»، والعناصرُ الأخرى في الزمرةِ 6 هي: الكروم والتنجستين والسيبورجيوم.

**تمارينُ تطبيقية**

1. من دونِ الرجوعِ إلى الجدولِ الدوريِّ، حدِّدِ الدورةَ والمجمَّعَ والزمرةَ التي يوجدُ فيها العنصرُ ذو الترتيبِ الإلكترونيّ: $[Ar]3d^84s^2$.
2. أ. من دونِ الرجوعِ إلى الجدولِ الدوريِّ، اكتبِ الترتيبَ الإلكترونيَّ الخارجيَّ لعنصرٍ من الزمرةِ 12 في الدورةِ الخامسة.
   ب. عُدْ إلى الجدولِ الدوريِّ لتحديدِ هويةِ العنصرِ الموصوفِ في السؤالِ (أ). ثم اكتبْ ترميزَ الغازِ النبيلِ لهذا العنصر.

**الأجوبة:**

1. الدورةُ الرابعة، المجمَّعُ $d$، والزمرةُ 10.
2. أ. $4d^{10}5s^2$
   ب. Cd، $[Kr]4d^{10}5s^2$

## عناصرُ المجمَّعِ –$p$: الزمرُ 13-18

تتألفُ عناصرُ المجمَّعِ $p$ من جميعِ عناصرِ الزمرِ 13-18 باستثناءِ الهيليوم. وتضافُ الإلكتروناتُ إلى تحتِ المستوى p فقط بعد أن يُملأ تحتُ المستوى $s$ في مستوى الطاقةِ نفسِه. لذلك يوجدُ لدى كلٍّ من عناصرِ المجمَّعِ –$p$ إلكترونانِ في تحتِ المستوى $ns$. تُدعى عناصرُ المجمَّعِ $p$ وعناصرُ المجمَّعِ $s$ **العناصرَ الرئيسة** main-group elements. في عناصرِ الزمرةِ 13، يدخلُ الإلكترونُ المضافُ إلى تحتِ المستوى $np$، ويؤدي إلى الترتيبِ التالي للزمرة: $ns^2np^1$. وتحتوي ذرّاتُ عناصرِ الزمرةِ 14 على إلكترونينِ في تحتِ المستوى $p$، مما يشكِّلُ الترتيبَ التاليَ للزمرة: $ns^2np^2$. يستمرّ هذا النمطُ في الزمرِ 15-18. ففي الزمرةِ 18، يتمُّ الوصولُ إلى ترتيبِ الغازِ النبيلِ المستقرّ $ns^2np^6$. يلخِّصُ **الجدولُ 2-5** العلاقةَ بين أرقامِ الزمرةِ والترتيباتِ الإلكترونيةِ لجميعِ الزمر.

أما ذراتُ عناصرِ المجمَّعِ $p$، فالعددُ الإجماليُّ لإلكتروناتِها في المستوى الأعلى المشغولِ يعادلُ رقمَ الزمرةِ ناقصًا 10. فالبروم (Br)، مثلاً، هو في الزمرةِ 17. ولتحديدِ العددِ الإجماليِّ للإلكترونات في المستوى الأعلى في ذرةِ البروم يُطرح رقم 10 من رقمِ الزمرة (7 = 10 – 17). ولأن ذراتِ عناصرِ المجمَّعِ-$p$ تحتوي على إلكترونينِ في تحتِ المستوى $ns$، يكونُ لدى البروم خمسةُ إلكتروناتٍ في تحتِ المستوى $p$، والترتيبُ الإلكترونيُّ للبروم هو $[Ar]3d^{10}4s^24p^5$.

تختلف خواصُّ عناصرِ المجمَّعِ –$p$ فيما بينها بشكلٍ كبيرٍ جدًّا. ففي أقصى اليمينِ يحتوي

**الجدول 5-2 العلاقةُ بين أرقامِ الزمرةِ والمجمَّعاتِ والترتيباتِ الإلكترونية**

| رقمُ الزمرة | ترتيبُ الزمرة | المجمَّع | الملاحظات |
|---|---|---|---|
| 1، 2 | $ns^{1-2}$ | $s$ | إلكترونٌ واحدٌ أو اثنانِ في تحتِ المستوى $ns$ |
| 3-12 | $(n-1)d^{1-10}ns^{0-2}$ | $d$ | مجموعُ عددِ الإلكتروناتِ في تحتِ المستويينِ $ns$ و $(n-1)d$ يساوي رقمَ الزمرة |
| 13-18 | $ns^2np^{1-6}$ | $p$ | عددُ الإلكتروناتِ في تحتِ المستوى $np$ يساوي رقمَ الزمرةِ ناقصًا 12 |

المجمَّعُ $p$– على جميعِ اللافلزّاتِ عدا الهيدروجينِ والهيليوم. ويحتوي أيضًا على أشباهِ الفلزّاتِ الستة: [البورون (B)، السيليكون (Si)، الجيرمانيوم (Ge)، الزرنيخ (As)، الأنتيمون (Sb)، والتيلوريوم (Te)]. وفي أسفلِ يسارِ هذا المجمَّعِ ثمانيةُ فلزّاتٍ تقعُ في المجمَّع -$p$. تظهرُ أماكنُ اللافلزّاتِ وأشباهِ الفلزّاتِ والفلزّاتِ في المجمَّعِ $p$– بألوانٍ مختلفةٍ في **الشكل 5-6** ضمنَ الجدولِ الدوريِّ المطبوعِ داخلَ الغلافِ الخلفيِّ للكتاب. وعناصرُ الزمرةِ 17 (الفلور، والكلور، والبروم، واليود، والأستاتين) تُسمَّى **الهالوجينات halogens**. تُعدُّ هذه العناصرُ أشدَّ اللافلزّاتِ نشاطًا، فهي تتفاعلُ بشدةٍ مع معظمِ الفلزّاتِ لتكوِّنَ نوعًا من المركَّباتِ يُسمّى الأملاح. وكما سترى لاحقًا، يرتكزُ تفاعلُ الهالوجيناتِ على وجودِ سبعةِ إلكتروناتٍ في مستوياتِ الطاقةِ الخارجيةِ (لا يتحققُ لها الاستقرارُ الثُّمانيّ). الفلورُ والكلورُ يوجدانِ بشكلِ غازاتٍ في درجةِ الحرارةِ الاعتياديةِ للغرفة، والبروم سائلٌ أحمر، واليود صُلبٌ ذو لونٍ أرجوانيٍّ قاتم (انظرِ **الشكل 5-11**). أما الأستاتين فهو عنصرٌ مصنَّعٌ، يحضَّرُ بكمّياتٍ قليلةٍ جدًّا، ومعظمَ خواصِّ هذا العنصرِ تقديرية، مع أنه مشهورٌ بأنه صُلب.

تقعُ أشباهُ الفلزّاتِ (أشباهُ الموصلات) على جانبَيِ الخطِّ الفاصلِ بين الفلزّاتِ واللافلزّاتِ في المجمَّعِ $p$–. وهي إجمالاً موادُّ صُلبةٌ وسريعةُ الكسرِ (هشة)، لها بعضُ خواصِّ الفلزّاتِ وبعضُ خواصِّ اللافلزّات. وتتوسّطُ العناصرُ شبهُ الفلزيةِ في توصيلِها للكهرباءِ بين الفلزّاتِ (الشديدةِ التوصيلِ للكهرباء) واللافلزّات (العديمةِ التوصيلِ للكهرباء).

تكونُ فلزّاتُ المجمَّعِ $p$– عمومًا أقسى وأكثرَ كثافةً من الفلزّاتِ القلويةِ الأرضيةِ للمجمَّعِ $s$–، ولكنها أكثرُ طراوةً وأقلُّ كثافةً من فلزّاتِ المجمَّعِ $d$–، وهذه الفلزّاتُ، باستثناءِ البزموث، هي ذاتُ نشاطيةٍ كافيةٍ بحيث لا تتواجدُ في الطبيعةِ إلا بشكلِ مركَّبات. وما إن تتواجد كفلزّاتٍ منفردة حتى تصبحَ مستقرّةً بوجودِ الهواء.

**الشكل 5-11** الفلور، والكلور، والبروم، واليود، هي عناصرُ الزمرةِ 17 من الجدولِ الدوريّ، وتُسمّى الهالوجينات.





اليود البروم الكلور الفلور

**مسألةٌ نموذجية 3-5**

**اكتبْ، من دونِ الرجوعِ إلى الجدولِ الدوريِّ، الترتيبَ الإلكترونيَّ الخارجيَّ لعنصرٍ من الزمرةِ 14 من الدورةِ الثانية. ثم اذكرِ اسمَ العنصرِ، وحدِّدْ طبيعتَه: فلزِّيّ، لافلزِّي، أو شبهُ فلزِّيّ.**

**الحلّ**

رقمُ الزمرةِ أكبرُ من 12، فالعنصرُ إذنْ من المجمَّعِ -$p$. العددُ الإجماليُّ للإلكتروناتِ في تحتِ المستوياتِ العليا المشغولةِ $s$ و $p$ يساوي رقمَ الزمرةِ ناقصًا 10، أي: $14 - 10 = 4$. ومع وجودِ إلكترونين في تحتِ المستوى $s$، يلزمُ أن يوجدَ إلكترونانِ في تحتِ المستوى $2p$، مما يؤدّي إلى الترتيبِ الإلكترونيِّ الخارجيّ $2s^2 2p^2$. العنصرُ إذنْ هو الكربون C، وهو عنصرٌ لافلزّي.

**تمارينُ تطبيقية**

1. أ. اكتبْ، من دون الرجوعِ إلى الجدولِ الدوريّ، الترتيبَ الإلكترونيَّ الخارجيَّ لعنصرٍ من الزمرة 17، في الدورةِ الثالثة.
   ب. أعطِ اسمَ العنصرِ الموصوفِ في السؤالِ (أ)، وحدِّدْ طبيعتَه: فلزّي، لا فلزّي، أو شبهُ فلزّي.
2. أ. حدِّدْ، من دونِ الرجوعِ إلى الجدولِ الدوري، الدورةَ والمجمَّعَ والزمرةَ للعنصرِ ذي الترتيبِ الإلكترونيِّ التالي: $[Ar]3d^{10}4s^24p^3$.
   ب. اذكرِ اسمَ العنصرِ الموصوفِ في السؤالِ (أ)، وحدِّدْ طبيعتَه: فلزِّيّ، لا فلزِّيّ، أو شبهُ فلزِّي.

**الأجوبة:**

1. أ. $3s^23p^5$
   ب. الكلور، لافلزّي
2. أ. الدورة الرابعة، المجمّعُ $p$ والزمرةُ 15.
   ب. الزرنيخ، شبهُ فلزّي.

## عناصرُ المجمَّعِ-$f$ اللانثنيداتُ والأكتينيدات

توجدُ عناصرُ المجمَّعِ -$f$ في الجدولِ الدوريِّ بين الزمرتينِ 3 و 4 في الدورتينِ السادسةِ والسابعة. يعكسُ هذا الموقعُ حقيقةَ ارتباطِ هذه العناصرِ بمَلْءِ تحتِ المستوى $4f$. ومع وجودِ سبعةِ أوربتالاتِ $4f$ كلٌّ منها يمتلئ بإلكترونين، يصبحُ المجموعُ الإجماليُّ 14 عنصرًا من المجمَّعِ -$f$ بين اللنثانيوم La والهفنيوم Hf، في الدورةِ السادسة. واللانثنيداتُ هي، عادةً، فلزّاتٌ لمّاعةٌ تتشابهُ في نشاطِها الكيميائيِّ مع الزمرةِ 2 من الفلزّاتِ القلويةِ الأرضية.

وهناك 14 عنصرًا من عناصرِ المجمَّعِ $4f$ هي الأكتينيدات، تقعُ بين الأكتين Ac والعنصرِ 104، في الدورةِ السابعة. في جميعِ هذه العناصرِ يُملأُ تحتُ المستوى $5f$ بـ 14 إلكترونًا، وتعتبرُ جميعُ عناصرِ زمرةِ الأكتينيداتِ إشعاعية. وأولُ أربعةِ عناصرَ منها (من الثوريوم Th حتى النبتونيوم Np) تتواجدُ طبيعيًّا على الأرض. أما بقيةُ الأكتينيداتِ فقد عُرفتْ كعناصرَ صناعيةٍ تمَّ تركيبُها في المختبرِ فقط.

## مسألةٌ نموذجية 5-4

أ. $[Xe]4f^{14}5d^{9}6s^{1}$

ب. $[Ne]3s^{2}3p^{5}$

ج. $[Ne]3s^{2}3p^{6}$

د. $[Xe]4f^{6}6s^{2}$

**إذا كان الترتيبُ الإلكترونيُّ لأربعةِ عناصرَ مجهولةٍ على الصورةِ التي أُدرجتْ فيها: سَمِّ المجمَّعَ والزمرةَ التي ينتمي إليها كلُّ عنصرٍ منها في الجدولِ الدوري، ثم سَمِّ العنصرَ واذكرْ طبيعتَه: فلزّ، لا فلزّ، شبهُ فلزّ. حدِّدْ أيُّ هذه العناصرِ ذاتُ نشاطيةٍ عاليةٍ أو منخفضة.**

### الحلّ

أ. تحتُ المستوى $4f$ ممتلئٌ بـ 14 إلكترونًا. وتحتُ المستوى $5d$ ممتلئٌ جزئيًا بـ9 إلكترونات. لذلك يكونُ العنصرُ من المجمَّع $d$–. وهو الفلزُّ الانتقاليُّ «البلاتين، Pt»، الذي ينتمي إلى الزمرةِ 10، ونشاطُهُ الكيميائيُّ منخفض.

ب. يُظهرُ تحتُ المستوى $p$ غيرُ المكتمل أن العنصرَ من المجمَّع $p$–. هذا العنصرُ له عددٌ إجماليٌّ من الإلكتروناتِ يساوي 7 في تحتِ المستويات $ns$ و $np$. فهو ينتمي إلى الزمرةِ 17، «الهالوجينات». إنه الكلور Cl، وهو ذو نشاطٍ كيميائيٍّ عالٍ.

ج. الترتيبُ الإلكترونيُّ لهذا العنصرِ هو ترتيبُ الغازِ النبيل، بناءً عليه هو من عناصرِ الزمرةِ 18. وفي المجمَّعِ $p$–. والعنصرُ هو الأرجون Ar. هو عنصرٌ لافلزيٌّ غيرُ نشيطٍ وهو غازٌ نبيل.

د. يُظهرُ تحتُ المستوى $4f$ غيرُ المكتمل أن العنصرَ من عناصرِ المجمَّع $f$– وأنه من اللانثنيدات. إن رقمَ الزمرةِ لا يرمزُ إلى المجمَّعِ $f$–، والعنصرُ هو السمريوم Sm. إن جميعَ عناصرِ زمرةِ اللانثنيداتِ فلزّيةٌ ونشطةٌ كيميائيًّا.

### تمارينُ تطبيقية

**1.** حدّدْ لكلٍّ من الصيغِ التالية هويةَ المجمَّع، والدورةَ، والزمرةَ، واسمَ الزمرة (متى أمكن)، واسمَ العنصر، ونوعَه (فلزّي، لافلزّي، أو شبهُ فلزّي)، والنشاطَ الكيميائيَّ (عالٍ أو منخفض).

أ. $[He]2s^{2}2p^{5}$

ب. $[Ar]3d^{10}4s^{1}$

ج. $[Kr]5s^{1}$

**الأجوبة:**

**1.** أ. المجمَّعُ $p$–، الدورةُ الثانية، الزمرةُ 17، هالوجين، الفلور، وهو لافلزّيٌّ شديدُ النشاطية.

ب. المجمَّعُ $d$–، الدورةُ الرابعة، الزمرةُ 11، عنصرٌ انتقاليّ، النحاس، فلزٌّ، ذو نشاطٍ كيميائيٍّ منخفض.

ج. المجمَّعُ $s$–، الدورةُ الخامسة، الزمرة 1، فلزّاتٌ قلوية، الروبيديوم، فلزٌّ ذو نشاطٍ كيميائيٍّ عالٍ.

## مراجعةُ القسم 5-2

**1.** ما مجمَّعاتُ الجدولِ الدوريِّ التي تُظهرُ العلاقةَ بين الترتيباتِ الإلكترونيةِ للعناصرِ وبين مواقعِها في الجدولِ الدوريّ؟

**2.** ما الاسمُ المعطى لكلٍّ من زمرِ العناصرِ التالية في الجدولِ الدوريّ؟

أ. الزمرة 1     ب. الزمرة 2

ج. الزمر 3-12     د. الزمرة 17

هـ. الزمرة 18

**3.** ما العلاقةُ بين ترتيبِ الزمرةِ ورقمِها بالنسبةِ للعناصرِ في المجمَّعات $s$ و $p$ و $d$؟

**4.** اكتبْ، من دونِ الرجوعِ إلى الجدولِ الدوريّ، الترتيبَ الإلكترونيَّ الخارجيَّ لعنصرٍ من الزمرةِ 15 في الدورةِ الرابعة.

**5.** حدِّدْ من دونِ الرجوعِ إلى الجدولِ الدوريِّ، الدورةَ، والمجمَّعَ، والزمرةَ لعنصرٍ ترتيبُهُ الإلكترونيُّ $[Ar]3d^{7}4s^{2}$.

## القســـم 3-5

### النواتجُ التعليمية

- يعرّفُ أنصافَ الأقطارِ الذريّةِ والأيونية، وطاقةَ التأين، والألفةَ الإلكترونية، الكهرسلبيَّة.
- يقارنُ بين تدرجِ أنصافِ الأقطارِ الذرية وبين طاقةِ التأين والكهرسلبيَّةِ عبر الزمرةِ والدورة. ويذكرُ أسبابَ اختلافِها.
- يعرّفُ إلكتروناتِ التكافؤ، ويذكرُ عددَها في ذراتِ العناصرِ الرئيسة.
- يقارنُ بين عناصرِ المجمَّع $d-$ وعناصرِ المجمَّعين $p$ و $s$ من حيث أنصافُ الأقطارِ الذرية وطاقةُ التأين والكهرسلبيَّة.

# الترتيبُ الإلكترونيُّ والخواصُّ الدورية

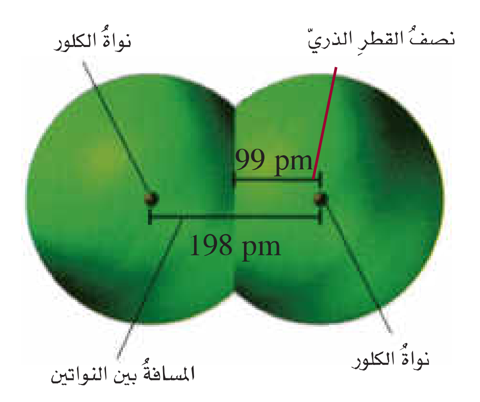
تعلّمتَ حتى الآنَ أن العناصرَ مرتّبةٌ في الجدولِ الدوريِّ وفقًا لعددِها الذريّ، وأنه توجدُ علاقةٌ تقريبيةٌ بين ترتيبِ العناصرِ في الجدولِ وبين ترتيبِها الإلكتروني. في هذا القسمِ، سيتمُّ إلقاءُ مزيدٍ من الضوءِ على العلاقةِ بين القانونِ الدوريِّ والترتيبِ الإلكترونيّ.

## أنصافُ الأقطارِ الذريَّة

يتحدَّدُ حجمُ الذرةِ نظريًّا بآخرِ مستوًى مشغولٍ بالإلكترونات. ومع ذلك فإن هذا التحديدَ غيرُ واضح، ويتغيَّرُ تبعًا لظروفٍ مختلفة. لذلك، ولتقديرِ حجمِ ذرةٍ معيَّنة، يجب تحديدُ الظروفِ التي تتواجدُ فيها هذه الذرة. إن إحدى الطرقِ المستخدمةِ لقياسِ نصفِ القُطرِ الذريِّ هي قياسُ المسافةِ بين نواتَيْ ذرَّتينِ متماثلتينِ ومتآصرتينِ كيميائيًّا، ثم قسمةُ المسافةِ على اثنين. وكما يظهرُ في **الشكل 5-12**، يمكنُ تعريفُ **نصفِ القُطرِ الذريِّ** atomic radius بأنه نصفُ المسافةِ بين نواتَيْ ذرّتينِ متماثلتين ومتآصرتينِ كيميائيًّا.

### تدرُّجُ نصفِ القُطرِ الذريِّ عبرَ الدورة

يمثِّلُ **الشكل 5-13** أنصافَ أقطارِ ذرّاتِ العناصر، **والشكل 5-14** يوضحُ هذه المعلوماتِ بيانيًّا. لاحظْ وجودَ تناقصٍ تدريجيٍّ في أنصافِ الأقطارِ الذريةِ عبر الدورةِ الثانيةِ من الليثيوم Li وصولاً إلى النيون Ne. والسببُ في التدرجِ نحو ذرّاتٍ أصغرَ عبرَ دورةٍ معيَّنة (بزيادةِ العدد الذري) هو تزايدُ الشحنةِ الموجبةِ للنواة. وباستمرارِ إضافةِ الإلكتروناتِ في تحتِ المستويينِ $s$ و $p$ في مستوى الطاقةِ الرئيسِ نفسِه، تنسحبُ الإلكتروناتُ تدريجيًّا




**الشكل 5-12** إحدى الطرقِ المستخدمةِ لتحديدِ نصفِ قطرِ الذرةِ تكونُ بقياسِ المسافةِ بين نواتَيْ ذرّتينِ متماثلتينِ ومتآصرتينِ كيميائيًّا في عنصرٍ أو مركّبٍ ثم بتنصيفِ المسافة. نصفُ قطرِ ذرةِ الكلور، على سبيلِ المثال، هو 99 بيكومترًا (pm).

## الجدول الدوري بحسبِ أنصافِ الأقطارِ الذرّية (pm)

الرمزُ الكيميائي: C — العددُ الذريّ: 6 — الحجمُ الذريُّ النسبيّ — نصفُ القطرِ الذريّ: 77

| الدورات | الزمرة 1 | الزمرة 2 | الزمرة 3 | الزمرة 4 | الزمرة 5 | الزمرة 6 | الزمرة 7 | الزمرة 8 | الزمرة 9 | الزمرة 10 | الزمرة 11 | الزمرة 12 | الزمرة 13 | الزمرة 14 | الزمرة 15 | الزمرة 16 | الزمرة 17 | الزمرة 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | H 1 37 | | | | | | | | | | | | | | | | | He 2 32 |
| 2 | Li 3 152 | Be 4 900 | | | | | | | | | | | B 5 86 | C 6 77 | N 7 70 | O 8 73 | F 9 72 | Ne 10 71 |
| 3 | Na 11 186 | Mg 12 160 | | | | | | | | | | | Al 13 143 | Si 14 118 | P 15 108 | S 16 106 | Cl 17 99 | Ar 18 97 |
| 4 | K 19 232 | Ca 20 197 | Sc 21 162 | Ti 22 147 | V 23 134 | Cr 24 128 | Mn 25 127 | Fe 26 126 | Co 27 125 | Ni 28 124 | Cu 29 128 | Zn 30 134 | Ga 31 135 | Ge 32 128 | As 33 125 | Se 34 116 | Br 35 114 | Kr 36 110 |
| 5 | Rb 37 248 | Sr 38 215 | Y 39 180 | Zr 40 160 | Nb 41 146 | Mo 42 139 | Tc 43 136 | Ru 44 134 | Rh 45 134 | Pd 46 137 | Ag 47 144 | Cd 48 149 | In 49 167 | Sn 50 151 | Sb 51 145 | Te 52 142 | I 53 133 | Xe 54 130 |
| 6 | Cs 55 265 | Ba 56 217 | La 57 183 | Hf 72 159 | Ta 73 146 | W 74 139 | Re 75 137 | Os 76 135 | Ir 77 136 | Pt 78 139 | Au 79 144 | Hg 80 151 | Tl 81 170 | Pb 82 175 | Bi 83 155 | Po 84 164 | At 85 140 | Rn 86 141 |
| 7 | Fr 87 270 | Ra 88 220 | Ac 89 188 | Rf 104 — | Db 105 — | Sg 106 — | Bh 107 — | Hs 108 — | Mt 109 — | Uun110 — | Uuu111 — | Uub112 — | 113 | Uuq114 — | 115 | Uuh116 — | 117 | Uuo118 — |

سلسلة اللانثنيدات

| Ce 58 182 | Pr 59 182 | Nd 60 181 | Pm 61 183 | Sm 62 180 | Eu 63 208 | Gd 64 180 | Tb 65 177 | Dy 66 178 | Ho 67 176 | Er 68 176 | Tm 69 176 | Yb 70 — | Lu 71 174 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Th 90 179 | Pa 91 163 | U 92 156 | Np 93 155 | Pu 94 159 | Am 95 173 | Cm 96 174 | Bk 97 — | Cf 98 186 | Es 99 186 | Fm 100 — | Md 101 — | No 102 — | Lr 103 — |

سلسلة الأكتينيدات

**الشكل 13-5** تتناقصُ أنصافُ الأقطارِ الذريةِ كلما اتجهنا من اليسارِ إلى اليمينِ عبر الدورة، وتتزايدُ نزولاً في الزمرة.

نحو النواةِ القويةِ الشحنة. يؤدّي هذا الانسحابُ المتزايدُ إلى تناقصٍ في أنصافِ الأقطارِ الذرية. وتتلاشى جاذبيةُ النواةِ إلى حدٍّ ما بالتنافرِ الناتجِ عن عددِ الإلكتروناتِ المتزايدِ في مستوى الطاقةِ الخارجيِّ نفسه. لذلك يصبحُ الفرقُ بين أنصافِ أقطارِ الذرّاتِ المتجاورةِ في كلِّ دورةٍ تدريجيًّا أصغر، كما يظهرُ في **الشكل 13-5**.

## تدرُّجُ نصفِ القُطرِ الذريِّ عبرَ الزمرة

تفحَّصْ أنصافَ الأقطارِ الذريةِ لعناصرِ الزمرةِ 1 في **الشكل 13-5**، ولاحظْ أن أنصافَ الأقطارِ الذريةِ للعناصرِ تزدادُ من أعلى إلى أسفلَ في الزمرة. وتزدادُ أحجامُ الذرّاتِ كلّما احتلّتِ الإلكتروناتُ تحتَ المستوياتِ العليا من مستوياتِ الطاقةِ الرئيسة، أو كلما بَعُدتْ عن النواة. وبشكلٍ عامّ، تتزايدُ أنصافُ الأقطارِ الذريةِ للعناصرِ الرئيسةِ كلما اتجهنا من أعلى إلى أسفلَ في الزمرة.

وعند تفحُّصِ أنصافِ أقطارِ عناصرِ الزمرةِ 13 نجدُ، على الرغمِ من أن الجاليوم Ga يلي الألمنيوم Al في الموقع، أن نصفَ قطرِ الجاليوم الذريِّ أصغرُ بقليلٍ من نصفِ قطرِ الألمنيوم الذريّ. ويرجعُ ذلك إلى أن الجاليوم، بعكسِ الألمنيوم، تسبقُهُ عناصرُ المجمَّعِ $d$-. إن التزايدَ المتوقعَ في نصفِ قطرِ الجاليوم بسببِ ملءِ المستوى الرئيسِ الرابعِ يفوقُ في الأهميةِ تقلُّصَ سحابةِ الإلكترونِ الناتجِ من الشحنةِ النوويةِ التي هي، إلى حدٍّ بعيد، أعلى من شحنةِ الألمنيومِ النوويّة.



**نصفُ القطرِ الذريّ مقابلَ العددِ الذريّ**

الدورة 2 — الدورة 3 — الدورة 4 — الدورة 5 — الدورة 6 — الدورة 7

نصفُ القطرِ الذريّ (pm)

العددُ الذريّ

H، He، Li، Ne، Na، Ar، K، Kr، Rb، Xe، Cs، Rn، Fr، Es

**الشكل 14-5** الرسمُ البيانيُّ لنصفِ القطرِ الذريِّ مقابلَ العددِ الذريِّ يُظهِرُ تدرُّجَ أنصافِ الأقطارِ عبرَ الزمرةِ والدورة.

## مسألةٌ نموذجية 5-5

أ. **أيُّ العناصرِ التاليةِ له نصفُ القُطرِ الذريِّ الأكبر: المغنيسيوم (Mg)، الكلور (Cl) ، الصوديوم (Na)، أم الفوسفور (P)؟ وضّح جوابَكَ طِبقًا للتدرجِ في الجدولِ الدوريّ.**

ب. **أيُّ العناصرِ التاليةِ له نصفُ القُطرِ الذريِّ الأكبر: الكالسيوم (Ca)، البريليوم (Be)، الباريوم (Ba)، أم السترونشيوم (Sr)؟ وضّح جوابَكَ طِبقًا للتدرجِ في الجدولِ الدوريّ.**

### الحلّ

أ. كلُّ العناصرِ تقعُ في الدورةِ الثالثة. لكنَّ الصوديوم لديهِ العددُ الذريُّ الأصغر، وهو العنصرُ الأولُ في الدورة. لذلك كان للصوديوم نصفُ القطرِ الذريِّ الأكبرُ لأن أنصافَ الأقطارِ الذريةِ تتناقصُ عبرَ الدورة.

ب. جميعُ هذه العناصرِ تقعُ في الزمرةِ 2، لكنَّ الباريوم لديه العددُ الذريُّ الأكبر، وهو الأبعدُ في أسفلِ الزمرة. لذلك، كان له نصفُ القطرِ الذريِّ الأكبرُ، باعتبارِ أن أنصافَ الأقطارِ الذريةِ تزدادُ نزولاً في الزمرة.

### تمارينُ تطبيقية

1. أيٌّ من العناصرِ التالية: Li، O، C، أم F، لديه نصفُ القطرِ الذريِّ الأكبر؟ وأيُّها لديه نصفُ القطرِ الذريِّ الأصغر؟ **الجواب:** Li، F

2. أيّ العناصرِ التالية : Br، At، F، أم Cl لـه نصفُ القُطرِ الذريِّ الأصغر؟ وأيّها له نصفُ القُطرِ الذريِّ الأكبر؟ **الجواب:** F، At

# طاقةُ التأين

يمكنُ انتزاعُ إلكترونٍ من ذرةٍ معيَّنةٍ إذا توفرَ ما يكفي من الطاقة. وباتِّخاذ A كرمزٍ لذرةِ عنصرٍ معيَّن، يمكنُ التعبيرُ عن هذه العمليةِ كما يلي:

$$A + \text{energy} \rightarrow A^{+} + e^{-} \quad \text{(في الحالةِ الغازية)}$$

تمثلُ $A^{+}$ أيونَ العنصر A مشحونًا بشحنةٍ موجبةٍ واحدة. ويشارُ إليها بالأيون 1+. **والأيون** ion هو ذرةٌ أو مجموعةُ ذرات مترابطةٌ لديها شحنةٌ موجبةٌ أو سالبة. فالصوديوم، مثلاً، يشكِّلُ أيون $Na^{+}$. وأيُّ عمليةٍ تؤدّي إلى تشكيلِ أيون هي عمليةُ **تأين** ionization.

لتقييمِ السهولةِ في تخلّي ذراتِ العناصرِ المختلفةِ عن إلكتروناتها، يقارنُ الكيميائيونَ بين طاقاتِ التأينِ نفسِها. الطاقةُ المطلوبةُ لنزعِ إلكترونٍ واحدٍ من ذرةِ عنصرٍ معيَّن متعادلةِ الشحنةِ هي **طاقةُ التأين** ionization energy (طاقةُ التأينِ الأولى). ولتجنبِ تأثيرِ الذراتِ المجاورة، تُقاسُ طاقاتُ التأينِ لذراتٍ مفردة وهي في الحالةِ الغازية. **الشكل 15-5** يعطي طاقاتِ التأينِ الأولى للعناصرِ بالكيلوجول/مول (kJ/mol). **والشكل 16-5** يقدِّم هذه المعلوماتِ بيانيًّا.

**الشكل 15-5** بشكل عامّ، تتزايدُ طاقةُ التأينِ الأولى عبر الدورة، وتتناقصُ نزولاً عبر الزمرة.

## الجدولُ الدوريُّ لطاقاتِ التأين (kJ/mol)

مفتاح: 6 = العددُ الذريّ، C = الرمزُ الكيميائيّ، 1086 = طاقةُ التأينِ الأولى

| الدورات | الزمرة 1 | الزمرة 2 | الزمرة 3 | الزمرة 4 | الزمرة 5 | الزمرة 6 | الزمرة 7 | الزمرة 8 | الزمرة 9 | الزمرة 10 | الزمرة 11 | الزمرة 12 | الزمرة 13 | الزمرة 14 | الزمرة 15 | الزمرة 16 | الزمرة 17 | الزمرة 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 H 1312 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He 2372 |
| 2 | 3 Li 520 | 4 Be 900 | | | | | | | | | | | 5 B 801 | 6 C 1086 | 7 N 1402 | 8 O 1314 | 9 F 1681 | 10 Ne 2081 |
| 3 | 11 Na 496 | 12 Mg 738 | | | | | | | | | | | 13 Al 578 | 14 Si 787 | 15 P 1012 | 16 S 1000 | 17 Cl 1251 | 18 Ar 1521 |
| 4 | 19 K 419 | 20 Ca 590 | 21 Sc 633 | 22 Ti 659 | 23 V 651 | 24 Cr 653 | 25 Mn 717 | 26 Fe 762 | 27 Co 760 | 28 Ni 737 | 29 Cu 746 | 30 Zn 906 | 31 Ga 579 | 32 Ge 762 | 33 As 947 | 34 Se 941 | 35 Br 1140 | 36 Kr 1351 |
| 5 | 37 Rb 403 | 38 Sr 550 | 39 Y 600 | 40 Zr 640 | 41 Nb 652 | 42 Mo 684 | 43 Tc 702 | 44 Ru 710 | 45 Rh 720 | 46 Pd 804 | 47 Ag 731 | 48 Cd 868 | 49 In 558 | 50 Sn 709 | 51 Sb 834 | 52 Te 869 | 53 I 1008 | 54 Xe 1170 |
| 6 | 55 Cs 376 | 56 Ba 503 | 57 La 538 | 72 Hf 659 | 73 Ta 761 | 74 W 770 | 75 Re 760 | 76 Os 839 | 77 Ir 878 | 78 Pt 868 | 79 Au 890 | 80 Hg 1007 | 81 Tl 589 | 82 Pb 716 | 83 Bi 703 | 84 Po 812 | 85 At --- | 86 Rn 1038 |
| 7 | 87 Fr --- | 88 Ra 509 | 89 Ac 490 | 104 Rf --- | 105 Db --- | 106 Sg --- | 107 Bh --- | 108 Hs --- | 109 Mt --- | 110 Uun --- | 111 Uuu --- | 112 Uub --- | 113 | 114 Uuq --- | 115 | 116 Uuh --- | 117 | 118 Uuo --- |

سلسلةُ اللانثنيدات

| 58 Ce 534 | 59 Pr 527 | 60 Nd 533 | 61 Pm 536 | 62 Sm 545 | 63 Eu 547 | 64 Gd 592 | 65 Tb 566 | 66 Dy 573 | 67 Ho 581 | 68 Er 589 | 69 Tm 597 | 70 Yb 603 | 71 Lu 523 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

سلسلةُ الأكتينيدات

| 90 Th 587 | 91 Pa 570 | 92 U 598 | 93 Np 600 | 94 Pu 585 | 95 Am 578 | 96 Cm 581 | 97 Bk 601 | 98 Cf 608 | 99 Es 619 | 100 Fm 627 | 101 Md 635 | 102 No 642 | 103 Lr --- |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|



طاقةُ التأينِ الأولى مقابلَ العددِ الذريّ

الشكل 16-5 رسمٌ بيانيٌّ يبيِّنُ العلاقةَ بين طاقةِ التأينِ الأولى $IE_1$، والعددِ الذريّ. بزيادةِ العددِ الذريّ يصبحُ التدرجُ عبر الدورةِ والزمرةِ أقلَّ وضوحًا.

## تدرُّجُ طاقةِ التأينِ في الدورة

تفحَّصْ، في **الشكلين 15-5** و **16-5**، طاقةَ تأينِ أولِ العناصرِ وآخرِها في كلِّ دورة. تلاحظُ أن فلِزّاتِ الزمرةِ 1 تمتلكُ طاقةَ التأينِ الأولى الأقلَّ في جميعِ الدوراتِ التالية. لذلك، فإنها تفقدُ إلكتروناتِها بسهولةٍ فائقة. هذه السهولةُ في فَقدِ الإلكتروناتِ هي السببُ الرئيسُ للنشاطِ الكيميائيِّ المرتفعِ لفلزّاتِ الزمرةِ 1 (القلوية). أما عناصرُ الزمرةِ 18، أي الغازاتُ النبيلة، فلديها طاقاتُ التأينِ الأعلى، فهي لا تفقدُ إلكتروناتِها بسهولة. ويُعزى النشاطُ الكيميائيُّ المنخفضُ لهذه العناصرِ إلى صعوبةِ انتزاعِ الإلكترونات.

وبشكلٍ عامّ، تزدادُ طاقاتُ التأينِ للعناصرِ الرئيسةِ عبرَ كلِّ دورة. وسببُ هذا التزايدِ هو تزايدُ الشحنةِ النووية. فالشحنةُ العاليةُ تجذبُ الإلكتروناتِ بقوةٍ في مستوى الطاقةِ نفسِه. كما أن التزايدَ في الشحنةِ النوويةِ مسؤولٌ عن كلٍّ من التزايدِ في طاقةِ التأينِ والتناقصِ في أنصافِ الأقطارِ عبرَ الدورات. وبشكلٍ عامّ، يمكنُ أن نلاحظَ أن اللافلزّاتِ لها طاقاتُ تأينٍ أعلى ممّا للفلزّات، كما أن لعناصرِ الزمرةِ 1 في كلِّ دورةٍ طاقةَ التأينِ الأقلّ، ولعناصرِ الزمرةِ 18 طاقةَ التأينِ الأعلى.

## تدرُّجُ طاقةِ التأينِ في الزمرة

في العناصرِ الرئيسةِ تتناقصُ طاقةُ التأين، بشكلٍ عامّ، كلما نزلنا إلى أسفلِ الزمرة. الإلكتروناتُ التي تُنتزَعُ من ذراتِ أيِّ عنصرٍ في الزمرةِ هي تلك الموجودةُ في مستوياتِ طاقةٍ عاليةٍ بعيدًا عن النواة، وهو ما يسهِّلُ انتزاعَها من مجالِها. وبتزايدِ العددِ الذريِّ نزولاً في الزمرة، يحلُّ عددٌ أكبرُ من الإلكترونات بين النواةِ وبين إلكتروناتِ مستوى

الطاقةِ الأعلى الذي تشغَلُهُ الإلكترونات، مما يقللُ من تأثيرِ شحنةِ النواةِ على الإلكتروناتِ الخارجية. وهكذا تتغلبُ هذه التأثيراتُ مجتمعةً على إمكانيةِ انجذابِ الإلكتروناتِ إلى الشحنةِ النوويةِ المتزايدة.

## انتزاعُ الإلكتروناتِ من الأيوناتِ الموجبة

عرفتَ سابقًا أنه عندما تتوفرُ كميةٌ كافيةٌ من الطاقةِ يمكنُ انتزاعُ الإلكتروناتِ من الذرات المتعادلةِ كهربائيًّا، كما أنه يمكنُ انتزاعُ الإلكتروناتِ من الأيونات الموجبةِ إذا توفرتْ طاقةٌ أكبر:

$$A^{+} + \text{energy} \rightarrow A^{++} + e^{-}$$

وتسمى هذه الطاقة طاقةَ التأينِ الثانيةَ، والثالثة وهكذا.

يُظهِرُ **الجدولُ 5-3**، طاقاتِ التأينِ الخمسَ الأولى لعناصرِ الدورةِ الأولى والثانيةِ والثالثة. إن طاقةَ التأينِ الثانية، كما تلاحظ، هي دائمًا أكبرُ من الأولى، وطاقةُ التأينِ الثالثةُ هي دائمًا أكبرُ من الثانية، وهكذا. وذلك لأنه، عند انتزاعِ الإلكتروناتِ خلالَ التأيناتِ المتتابعة، يقلُّ عددُ الإلكتروناتِ، وبالتالي يزدادُ تأثيرُ الشحنةِ الموجبةِ في النواةِ نظرًا لتفوقِ عددِ البروتوناتِ على عددِ الإلكترونات. لذلك، فإن كلَّ انتزاعٍ متتالٍ للإلكتروناتِ من الأيونِ يُظهِرُ تأثيرًا قويًّا ومتزايدًا على الشحنةِ النووية. تُظهِرُ طاقاتُ التأينِ الأولى في **الجدولِ 5-3** أن انتزاعَ إلكترونٍ منفردٍ من ذرةٍ من عناصرِ الزمرةِ 18 هو أكثرُ صعوبةً من انتزاعِ إلكترونٍ من ذراتِ عناصرَ أخرى من الدورةِ نفسِها. وهذا الاستقرارُ الخاصُّ في ترتيبِ الغازِ النبيلِ ينطبقُ على الأيوناتِ التي لها ترتيباتُ الغازاتِ النبيلةِ نفسُها. لاحظْ، في **الجدولِ 5-3**، التزايدَ الكبيرَ بين طاقاتِ التأينِ من الدورةِ الأولى إلى الثانيةِ لليثيومِ Li، ومن الثانيةِ إلى الثالثةِ للبيريليوم Be.

**الجدول 5-3 طاقاتُ التأينِ (kJ/mol) الخمسُ الأولى لعناصرِ الدوراتِ 1-3**

| | الدورة 1 | | الدورة 2 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | H | He | Li | Be | B | C | N | O | F | Ne |
| $IE_1$ | 1312 | **2372** | 520 | 900 | 801 | 1086 | 1402 | 1314 | 1681 | 2081 |
| $IE_2$ | | 5250 | **7298** | 1757 | 2427 | 2353 | 2856 | 3388 | 3374 | 3952 |
| $IE_3$ | | | 11 815 | **14 849** | 3660 | 4621 | 4578 | 5300 | 6050 | 6122 |
| $IE_4$ | | | | 21 007 | **25 026** | 6223 | 7475 | 7469 | 8408 | 9370 |
| $IE_5$ | | | | | 32 827 | **37 830** | 9445 | 10 990 | 11 023 | 12 178 |
| | | | الدورة 3 | | | | | | | |
| | | | Na | Mg | Al | Si | P | S | Cl | Ar |
| $IE_1$ | | | 496 | 738 | 578 | 787 | 1012 | 1000 | 1251 | 1521 |
| $IE_2$ | | | **4562** | 1451 | 1817 | 1577 | 1903 | 2251 | 2297 | 2666 |
| $IE_3$ | | | 6912 | **7733** | 2745 | 3232 | 2912 | 3361 | 3822 | 3931 |
| $IE_4$ | | | 9544 | 10 540 | **11 578** | 4356 | 4957 | 4564 | 5158 | 5771 |
| $IE_5$ | | | 13 353 | 13 628 | 14 831 | **16 091** | 6274 | 7013 | 6540 | 7238 |

## مسألةٌ نموذجية 6-5

**خذْ عنصرين من العناصرِ الرئيسة، (أ) و (ب). طاقةُ التأينِ الأولى للعنصرِ (أ) تبلغُ 419 kJ/mol وطاقةُ التأينِ الثانيةُ للعنصرِ (ب) تبلغُ 1000 kJ/mol، أين ترجّحُ وضعَ كلٍّ من العنصرينِ ليكونَ في المجمَّعِ *s* أو في المجمَّعِ *p*؟ أيُّ العنصرينِ يرجَّحُ أن يكونَ أيونًا موجبًا؟**

**الحلّ**

للعنصرِ (أ) طاقةُ تأينٍ منخفضة، وهذا يعني أن ذراتِ (أ) تفقدُ الإلكتروناتِ بسهولة. لذلك، من المرجَّحِ أن يكونَ العنصرُ (أ) فلزًّا من المجمَّعِ -*s* لأن طاقاتِ التأينِ لديه تزدادُ عبر الدورات. أما العنصرُ (ب) فله طاقةُ تأينٍ عاليةٌ جدًّا، وهذا يعني أن ذراتِه تفقدُ الإلكتروناتِ بصعوبة. لذا نتوقعُ أن يقعَ العنصرُ (ب) في نهايةِ دورةِ طاقةِ تأينٍ معيَّنةٍ من المجمَّعِ *p*. ومن الأرجحِ أن يشكلَ العنصرُ (أ) أيونًا موجبًا لأن لديه طاقةَ تأينٍ أكثرَ انخفاضًا من طاقةِ تأينِ العنصر (ب).

## تمارينُ تطبيقية

**1.** Q، R، T، X أربعةُ عناصرَ لمجموعاتٍ افتراضيةٍ ذاتِ ترتيبٍ إلكترونيٍّ خارجيٍّ هو:

$Q: 3s^2 3p^5$ $R: 3s^1$ $T: 4d^{10}5s^2 5p^5$ $X: 4d^{10}5s^2 5p^1$

أ. حدِّدْ موقعَ المجمَّعِ لكلِّ عنصرٍ من العناصرِ الافتراضيةِ السابقة.

ب. أيٌّ من هذه العناصرِ موجودٌ في الدورةِ نفسِها؟ وأيٌّ منها موجودٌ في الزمرةِ نفسِها؟

ج. أيُّ عنصرٍ تتوقعُ أن تكونَ له أعلى طاقةِ تأينٍ أولى؟ وأيُّ عنصرٍ تتوقعُ أن تكونَ له أدنى طاقةِ تأينٍ أولى؟

د. أيُّ عنصرٍ تتوقعُ أن تكونَ له أعلى طاقةِ تأينٍ ثانية؟

هـ. أيُّ العناصرِ تُرجِّحُ أن يشكِّلَ أيونًا +1؟

**الأجوبة:**

**1.** أ. Q يوجدُ في المجمَّع -*p*، R يوجدُ في المجمَّع -*s*، T يوجدُ في المجمَّع -*p*، X يوجدُ في المجمَّع -*p*.

ب. Q وR وX وT موجودةٌ في الدورةِ نفسِها. Q وT موجودانِ في الزمرةِ نفسِها.

ج. Q له أعلى طاقةِ تأينٍ أُولى، وR له أدنى طاقةِ تأينٍ أُولى.

د. R

هـ. R

# الألفةُ الإلكترونيّةُ

الذراتُ ذاتُ الشحنةِ المتعادلةِ يمكنُ أن تكتسبَ إلكترونات. ويُطلقُ على تغيُّرِ الطاقةِ الذي يحصلُ عندما تكتسبُ ذرةٌ متعادلةٌ إلكترونًا اسمَ **الألفةِ الإلكترونيَّةِ electron affinity** للذرة، علمًا بأن معظمَ الذراتِ تحرِّرُ طاقةً عندما تكتسبُ إلكترونًا، وفقًا للمعادلة:

$$A + e^- \rightarrow A^- + \text{energy}$$

تُمثِّلُ كمّيةُ الطاقةِ المنطلقةِ برقمٍ سالب. من ناحيةٍ أخرى، بعضُ الذراتِ تُجبَرُ على اكتسابِ إلكترونٍ بإعطائِها طاقة، فتكوِّنُ أيونًا سالبًا:

$$A + e^- + \text{energy} \rightarrow A^-$$

تمثِّلُ كمّيةُ الطاقةِ المتصّةِ برقمٍ موجب. إلاّ أن الأيونَ المتكوِّنَ بهذه الطريقةِ غيرُ مستقرّ، فسرعانَ ما يفقدُ الإلكترونَ المضافَ وبصورةٍ تلقائية.

يبيِّنُ **الشكلُ 5-17** الألفةَ الإلكترونيَّةَ للعناصرِ بالكيلوجول/مول (kJ/mol). ويقدِّمُ **الشكلُ 5-18** هذه المعطياتِ بيانيًّا.

## تدرُّجُ الألفةِ الإلكترونية عبر الدورة

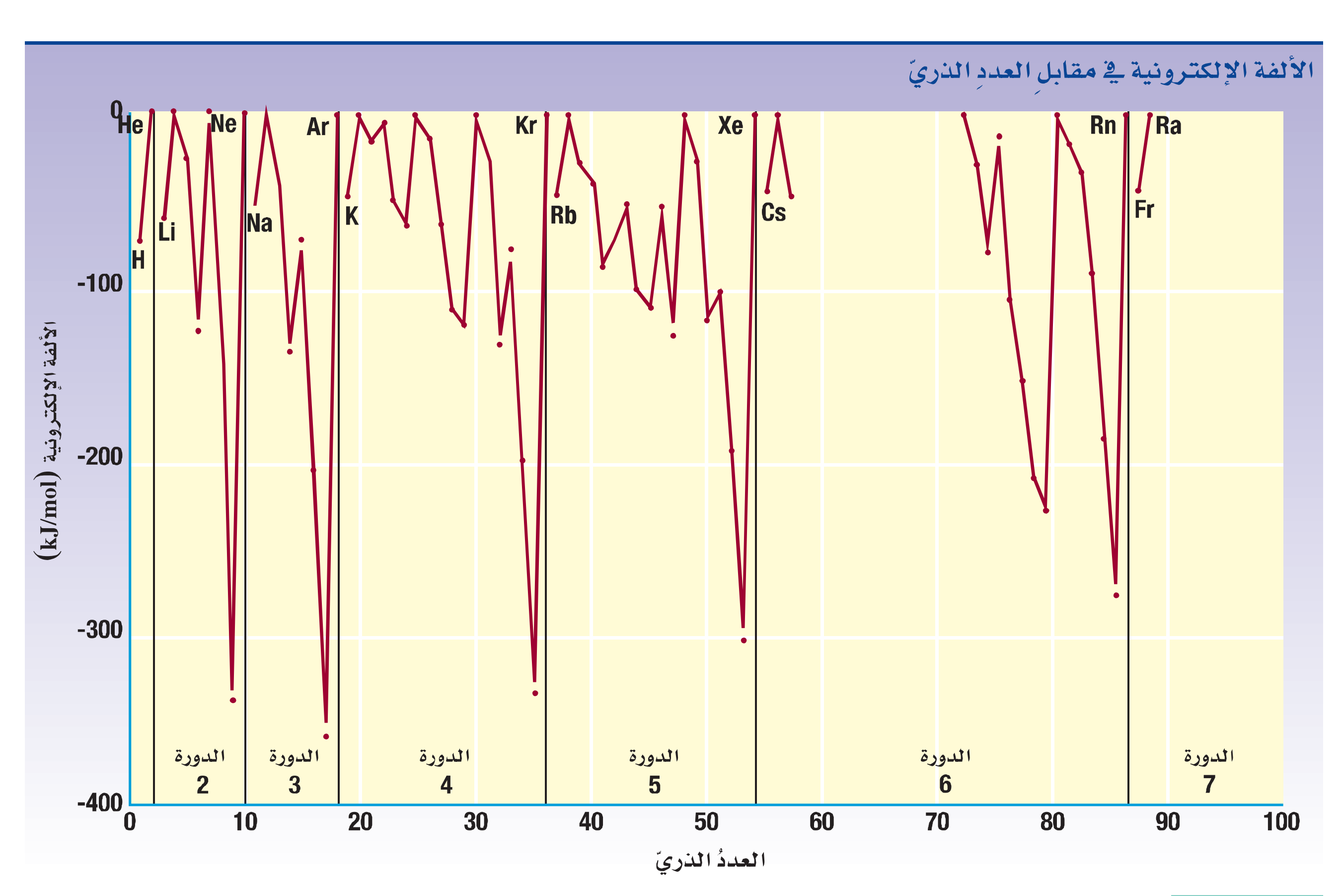
من بينِ عناصرِ كلِّ دورة تكتسبُ عناصرُ الهالوجينات (الزمرة 17) الإلكتروناتِ بسهولةٍ أكبر. وقد أُشيرَ إلى ذلك من خلالِ القيمِ السالبةِ الكبيرةِ للألفةِ الإلكترونية للهالوجيناتِ في **الشكل 5-17**. السهولةُ التي تكسِبُ بها ذراتُ الهالوجين الإلكتروناتِ هي سببٌ أساسيٌّ في نشاطيةِ عناصرِ الزمرةِ 17. بشكلٍ عام، كلما أُضيفتِ الإلكتروناتُ إلى تحتِ المستوى $p$ نفسِه لذراتٍ ذاتِ شحنةٍ نوويةٍ متزايدة، تصبحُ الألفةُ الإلكترونية سالبةً أكثرَ عبر كلِّ دورةٍ داخلَ المجمَّعِ $p$. يوجدُ استثناءٌ لهذا التدرجِ بين الزمرتين 14 و 15، قارنْ بين الألفةِ الإلكترونية للكربون ($[He]2s^22p^2$) والألفةِ الإلكترونية للنيتروجين

**الشكل 5-17** قِيَمُ الألفةِ الإلكترونية المحصورةِ بين قوسينِ في هذا الجدولِ الدوريِّ هي تقريبية، ومقدرةٌ بـ 50 kJ/mol– لكلٍّ من اللانثنيدات و0 kJ/mol لكلٍّ من الأكتينيدات.

### الجدولُ الدوريُّ للألفةِ الإلكترونية (kJ/mol)

6 — العددُ الذريّ
C — الرمزُ الكيميائيّ
-126.3 — الألفة الإلكترونية

| الدورات | الزمرة 1 | الزمرة 2 | الزمرة 3 | الزمرة 4 | الزمرة 5 | الزمرة 6 | الزمرة 7 | الزمرة 8 | الزمرة 9 | الزمرة 10 | الزمرة 11 | الزمرة 12 | الزمرة 13 | الزمرة 14 | الزمرة 15 | الزمرة 16 | الزمرة 17 | الزمرة 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 H -75.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He (0) |
| 2 | 3 Li -61.8 | 4 Be (0) | | | | | | | | | | | 5 B -27.7 | 6 C -126.3 | 7 N (0) | 8 O -146.1 | 9 F -339.9 | 10 Ne (0) |
| 3 | 11 Na -54.8 | 12 Mg (0) | | | | | | | | | | | 13 Al -44.1 | 14 Si -138.5 | 15 P -74.6 | 16 S -207.7 | 17 Cl -361.7 | 18 Ar (0) |
| 4 | 19 K -50.1 | 20 Ca (0) | 21 Sc -18.8 | 22 Ti -7.9 | 23 V -52.5 | 24 Cr -66.6 | 25 Mn (0) | 26 Fe -16.3 | 27 Co -66.1 | 28 Ni -115.6 | 29 Cu -122.8 | 30 Zn (0) | 31 Ga -30 | 32 Ge -135 | 33 As -81 | 34 Se -202.1 | 35 Br -336.5 | 36 Kr (0) |
| 5 | 37 Rb -48.6 | 38 Sr (0) | 39 Y -30.7 | 40 Zr -42.6 | 41 Nb -89.3 | 42 Mo -74.6 | 43 Tc -55 | 44 Ru -105 | 45 Rh -113.7 | 46 Pd -55.7 | 47 Ag -130.2 | 48 Cd (0) | 49 In -30 | 50 Sn -120 | 51 Sb -107 | 52 Te -197.1 | 53 I -305.9 | 54 Xe (0) |
| 6 | 55 Cs -47.2 | 56 Ba (0) | 57 La -50 | 72 Hf (0) | 73 Ta -32.2 | 74 W -81.5 | 75 Re -15 | 76 Os -110 | 77 Ir -156.5 | 78 Pt -212.8 | 79 Au -230.9 | 80 Hg (0) | 81 Tl -20 | 82 Pb -36 | 83 Bi -94.6 | 84 Po -190 | 85 At -280 | 86 Rn (0) |
| 7 | 87 Fr -47.0 | 88 Ra (0) | 89 Ac --- | 104 Rf --- | 105 Db --- | 106 Sg --- | 107 Bh --- | 108 Hs --- | 109 Mt --- | 110 Uun --- | 111 Uuu --- | 112 Uub --- | 113 | 114 Uuq --- | 115 | 116 Uuh --- | 117 | 118 Uuo --- |




**الشكل 18-5** رسمٌ بيانيٌّ يبيِّنُ الألفة الإلكترونية في مقابلِ العددِ الذريّ، ويبيِّنُ أن معظمَ الذراتِ تحررُ طاقةً عند اكتسابها إلكترونًا. ويشارُ إلى ذلك بالقيمِ السالبة.

($[He]2s^22p^3$). إن إضافةَ إلكترونٍ إلى ذرةِ كربونٍ يُعطي تحتَ مستوى $p$ نصفَ ممتلئ. يحدُثُ ذلك بسهولةٍ أكثرَ من مزاوجةِ إلكترونين في أوربتال تحتِ المستوى $p$ نصفِ الممتلئ لذرةِ النيتروجين.

## تدرُّجُ الألفةِ الإلكترونية عبر الزمرة

تدرُّجُ الألفةِ الإلكترونية داخلَ الزمرِ ليس بمستوى الانتظامِ نفسِهِ الذي يميِّزُ تدرجَ طاقاتِ التأين. وكقاعدةٍ عامّة، تضافُ الإلكتروناتُ بصعوبةٍ بالغةٍ كلما اتجهنا من أعلى الزمرةِ إلى أسفلِها. وهذا النمطُ ناتجٌ من تنافسِ عاملين. الأولُ هو التزايدُ الطفيفُ في الشحنةِ النوويةِ الفعّالة نزولاً في الزمرة، وهو مما يزيدُ من الألفةِ الإلكترونيةِ، والثاني هو تزايدُ نصفِ قُطرِ الذرةِ نزولاً في الزمرة، وهو مما يخفِّضُ الألفةَ الإلكترونية. وبشكلٍ عامّ، يبقى الحجمُ أكثرَ تأثيرًا، لكنْ مع استثناءاتٍ تظهرُ خصوصًا بين الفلزّاتِ الانتقاليةِ الثقيلةِ التي تميلُ إلى أن تكونَ بالحجمِ نفسِه وإلى تناقصِ نصفِ قطرِها بشكلٍ متوازٍ نزولاً في الزمرة.

## إضافةُ إلكتروناتٍ إلى الأيوناتِ السالبة

توجدُ صعوبةٌ دائمةٌ في إضافةِ إلكترونٍ ثانٍ إلى أيونٍ سالبٍ منفرد، وفي حالةٍ غازيّة. لذلك تصبحُ الأُلَفُ الإلكترونيةُ الثانيةُ جميعُها موجبة. وتميلُ بعضُ اللافلزّاتِ في المجمَّع $p$– إلى تكوينِ أيوناتٍ سالبةٍ لها ترتيباتُ الغازِ النبيل.

تقومُ الهالوجيناتُ بذلك من خلالِ إضافةِ إلكترونٍ واحد. فالكلور، مثلاً، له الترتيبُ

الإلكترونيُّ $[Ne]3s^23p^5$، وذرةُ الكلورِ تكتسبُ ترتيبَ الغازِ النبيلِ (الأرجون) بإضافةِ إلكترونٍ لتكوين أيون $Cl^-$ $([Ne]3s^23p^6)$. إن إضافةَ إلكترونٍ آخرَ صعبةٌ للغاية، لذا لم يكن الأيون $Cl^{2-}$ موجودًا البتَّة. وتتوفرُ ذراتُ عناصرِ الزمرةِ 16 في عدةِ مركَّباتٍ على شكل أيون –2. على سبيلِ المثال، يبلغُ الأكسجينُ $[He]2s^22p^4$ ترتيبَ الغازِ النبيل (النيون) بإضافةِ إلكترونين ليكوِّنَ الأيون $O^{2-}$ $([He]2s^22p^6)$. ويبلغُ النيتروجينُ ترتيبَ النيون بإضافةِ ثلاثةِ إلكتروناتٍ ليكوِّن الأيون $N^{3-}$.

## أنصافُ الأقطارِ الأيونية

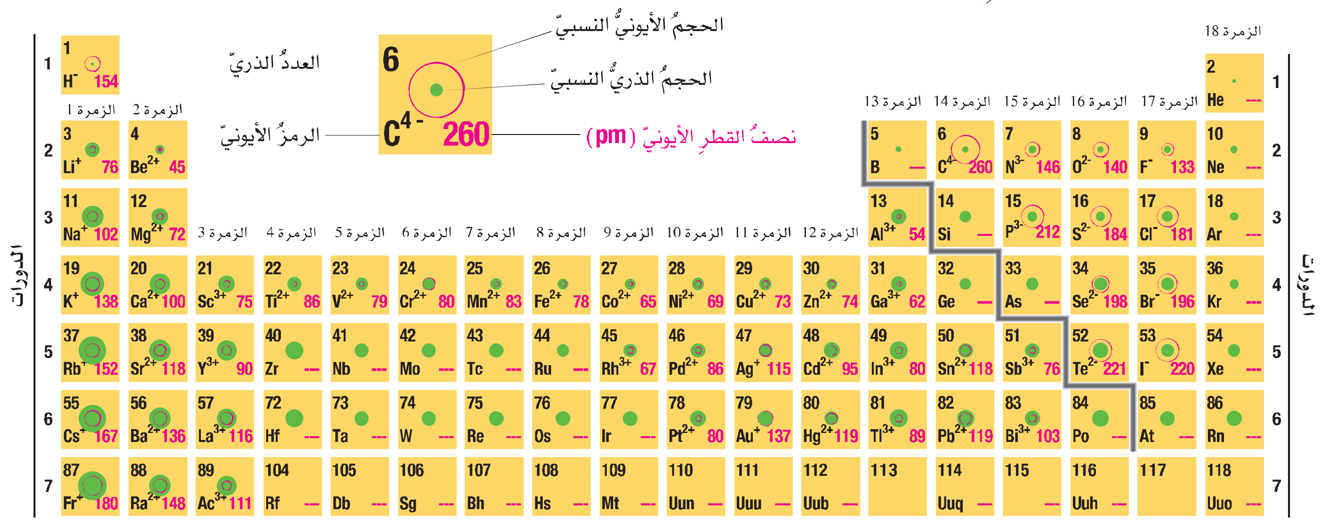
يبيِّنُ **الشكلُ 19-5** أنصافَ أقطارٍ لبعضِ أيوناتِ العناصرِ الأكثرِ شيوعًا. للأيوناتِ الموجبةِ والسالبةِ أسماءٌ محدَّدة. فالأيونُ الموجبُ يُسمّى **الكاتيون** cation. إن تكوينَ الكاتيون بفَقدِ إلكترونٍ واحدٍ أو أكثرَ يؤدي دائمًا إلى تناقصٍ في نصفِ القُطرِ الذريّ، لأن انتزاعَ إلكتروناتٍ من مستوى الطاقةِ الأعلى يؤدي إلى تقليلِ سحابةِ الإلكترونات. كذلك، تنسحبُ الإلكتروناتُ المتبقيةُ لتقتربَ من النواةِ بسببِ شحنتِها الموجبة، غيرِ المتوازنة.

يُسمّى الأيونُ السالبُ **أنيون** anion. وتَكوُّنُ الأنيون، بزيادةِ إلكترونٍ واحدٍ أو أكثر، يؤدي دائمًا إلى زيادةٍ في نصفِ القطرِ الذريّ، وذلك لأن العددَ الإجماليَّ للشحنةِ الموجبةِ في النواةِ يبقى كما هو عند إضافةِ إلكترونٍ إلى ذرةٍ معينة أو إلى أيونٍ معيَّن. لذلك، لا تنجذبُ الإلكتروناتُ إلى النواةِ بالقوةِ نفسِها قبل اكتسابِ الإلكترونِ الإضافيّ، كما أن سحابةَ الإلكترون تنتشرُ إلى الخارجِ بسببِ التنافرِ الكبيرِ الذي يحصُلُ بين الإلكتروناتِ المتزايدةِ العدد.

### تدرُّجُ أنصافِ الأقطارِ الأيونيةِ عبر الدورة

تميلُ الفلزّاتُ المتواجدةُ إلى اليسارِ داخلَ كلِّ دورةٍ في الجدولِ الدوريّ إلى تكوينِ الكاتيونات، بينما تميلُ اللافلزّاتُ في أعلى اليمينِ إلى تكوينِ الأنيونات. وتتناقصُ

**الشكل 19-5** يبيِّنُ أنصافَ الأقطارِ الأيونية للأيوناتِ الأحاديةِ الأكثرِ شيوعًا في المركَّباتِ الكيميائية. تكونُ الكاتيوناتُ أصغرَ من الذرةِ التي تكونتْ منها، بينما تكونُ الأنيوناتُ أكبر.



أنصافُ الأقطارِ الكاتيونيةِ عبر الدورةِ بسببِ تقلُّص سحابةِ الإلكترونِ الناجم عن تزايدِ الشحنةِ النووية، المؤثّرةِ في الإلكتروناتِ التي هي في مستوى الطاقةِ الرئيسِ نفسِه. انطلاقًا من الزمرة 15 التي تتخذُ الذراتُ فيها الترتيباتِ المستقرةَ للغازِ النبيلِ من خلالِ كسبِها ثلاثةَ إلكترونات، تكونُ الأنيوناتُ أكثرَ شيوعًا من الكاتيونات. وتتناقصُ أنصافُ الأقطارِ الأنيونيةِ للعناصرِ عبر كلِّ دورةٍ من الزمرِ 15-18. إن أسبابَ هذا التناقصِ هي نفسُها التي أدَّتْ إلى تناقصِ أنصافِ الأقطارِ الكاتيونيةِ من اليسارِ إلى اليمينِ عبر الدورة.

### تدرُّجُ أنصافِ الأقطارِ الأيونيةِ عبر الزمرة

كما هي حالُها في الذراتِ، تكونُ الإلكتروناتُ الخارجيةُ في كلٍّ من الكاتيوناتِ والأنيوناتِ في المستوياتِ ذاتِ الطاقةِ الأعلى عند التدرُّجِ نزولاً في زمرةٍ معيَّنة. لذلك، كما يوجدُ تزايدٌ تدرُّجيٌّ في أنصافِ الأقطارِ الذريةِ نزولاً في الزمرة، يوجد أيضًا تزايدٌ تدرُّجيٌّ في أنصافِ الأقطارِ الأيونية.

## إلكتروناتُ التكافؤ

تتكونُ المركَّباتُ الكيميائيةُ بسببِ اكتساب الذراتِ للإلكتروناتِ أو فقدِها لها أو تشارُكِها فيها. وتكونُ الإلكتروناتُ التي تتفاعلُ هذا التفاعلَ في مستوياتِ الطاقةِ الأعلى. فهي الأكثرُ تعرُّضًا لتأثيرِ أقربِ الذراتِ أو الأيونات إليها. تُسمّى الإلكتروناتُ التي تُفقَدُ أو تُكتسبُ أو تشارِكُ في تكوينِ مركَّباتٍ كيميائية **إلكتروناتِ التكافؤ** valence electrons. تكونُ هذه الإلكتروناتُ في معظمِ الأحوالِ واقعةً في مستوياتِ الطاقةِ الرئيسةِ غيرِ المكتملة. على سبيلِ المثال، الإلكترونُ الذي يُفقدُ من تحتِ المستوى $3s$ للصوديوم ليكوِّن $Na^+$ هو إلكترونَ تكافؤ.

العناصرُ الرئيسةُ لها إلكتروناتُ تكافؤٍ تتمثلُ بالإلكتروناتِ الموجودةِ في تحتِ المستوياتِ $s$ و $p$ الأبعد. أما الإلكتروناتُ الداخليةُ فهي في مستوياتِ طاقةٍ مملوءة، وتكونُ مرتبطة بالنواةِ بشدةٍ مما يجعلها لا تساهمُ في تكوينِ المركَّب. تحتوي عناصرُ الزمرةِ 1 على إلكترونِ تكافؤٍ واحد، ولعناصرِ الزمرةِ 2 إلكترونا تكافؤ، كما يظهرُ في **الجدول 5-4**. أما

**الجدول 5-4** إلكتروناتُ التكافؤِ في العناصرِ الرئيسة

| رقمُ الزمرة | ترتيبُ الزمرة | عددُ إلكتروناتِ التكافؤ |
|---|---|---|
| 1 | $ns^1$ | 1 |
| 2 | $ns^2$ | 2 |
| 13 | $ns^2p^1$ | 3 |
| 14 | $ns^2p^2$ | 4 |
| 15 | $ns^2p^3$ | 5 |
| 16 | $ns^2p^4$ | 6 |
| 17 | $ns^2p^5$ | 7 |
| 18 | $ns^2p^6$ | 8 |

عناصرُ الزمرِ 13-18 فلديها عددٌ من إلكتروناتِ التكافؤِ مساوٍ لرقمِ الزمرةِ ناقصًا 10. فِي بعضِ الحالاتِ يشتركُ فِي تكوينِ المركَّبِ كلٌّ من إلكترونَي التكافؤِ لتحتِ المستويين $s$ و $p$ التابعينِ لعناصرِ المجمَّعِ $p$، وفِي حالاتٍ أخرى تنفردُ إلكتروناتُ تحتِ المستوى $p$ فقط فِي تكوينِ المركَّب.

# الكهرسلبيَّة

إلكتروناتُ التكافؤِ هي التي تربطُ الذراتِ بعضَها ببعضٍ فِي المركَّباتِ الكيميائية. وفِي العديدِ من المركَّباتِ، تكونُ الشحنةُ السالبةُ لإلكتروناتِ التكافؤِ مركزةً بالقربِ من ذرةٍ معيَّنةٍ دون غيرها، ممّا يؤثِّرُ بشكلٍ كبيرٍ فِي الخواصِّ الكيميائيةِ للمركَّب. لذلك، من المفيدِ أن يكونَ لدينا قياسٌ لقوةِ الجذبِ التي تسلِّطُها إحدى الذراتِ على إلكتروناتِ ذرةٍ أخرى فِي مركَّبٍ معيَّن. بناءً على ذلك قامَ لينوس بولينغ، أحدُ أكثرِ الكيميائيينَ الأميركيينَ شهرةً، بابتكارِ قياسٍ رقميٍّ للقيمِ يعكسُ ميلَ الذرةِ إلى جذبِ الإلكترونات. إن قدرةَ الذرةِ على جذبِ الإلكتروناتِ فِي أيِّ مركَّبٍ كيميائيٍّ تُسمّى **الكهرسلبية** electronegativity. وبما أن للفلورِ أعلى كهرسلبية، فقد تمَّ إعطاؤهُ الرقمَ 4.0 كقياسٍ لهذه السالبية. وحُدِّدتْ قيمُ الكهرسلبيةِ لباقي العناصرِ قياسًا على كهرسلبيَّة الفلور.

**الشكل 20-5** الكهرسلبيةُ للعناصرِ مبيَّنةً على أساسِ مقياسِ بولينغ. العناصرُ ذاتُ الكهرسلبيةِ الأكبرِ موجودةٌ في أعلى يمينِ المجمَّعِ $p$. والعناصرُ ذاتُ الكهرسلبيةِ الأقلِّ موجودةٌ في أسفلِ يسارِ المجمَّعِ $s$.

## تدرُّجُ الكهرسلبيةِ عبر الدورة

كما يظهرُ فِي **الشكل 20-5**، تميلُ الكهرسلبيةُ إلى التزايدِ عبر كلِّ دورة، مع وجودِ استثناءات. فالفلزّاتُ القلويةُ والقلويةُ الأرضيةُ هي العناصرُ الأقلُّ كهرسلبية، ولذرّاتِها

### الجدولُ الدوريُّ للكهرسلبية

| 6 | العددُ الذريّ |
|---|---|
| C | الرمزُ الكيميائيّ |
| 2.5 | الكهرسلبية |

| الدورات | الزمرة 1 | الزمرة 2 | الزمرة 3 | الزمرة 4 | الزمرة 5 | الزمرة 6 | الزمرة 7 | الزمرة 8 | الزمرة 9 | الزمرة 10 | الزمرة 11 | الزمرة 12 | الزمرة 13 | الزمرة 14 | الزمرة 15 | الزمرة 16 | الزمرة 17 | الزمرة 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 H 2.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He --- |
| 2 | 3 Li 1.0 | 4 Be 1.5 | | | | | | | | | | | 5 B 2.0 | 6 C 2.5 | 7 N 3.0 | 8 O 3.5 | 9 F 4.0 | 10 Ne --- |
| 3 | 11 Na 0.9 | 12 Mg 1.2 | | | | | | | | | | | 13 Al 1.5 | 14 Si 1.8 | 15 P 2.1 | 16 S 2.5 | 17 Cl 3.0 | 18 Ar --- |
| 4 | 19 K 0.8 | 20 Ca 1.0 | 21 Sc 1.3 | 22 Ti 1.5 | 23 V 1.6 | 24 Cr 1.6 | 25 Mn 1.5 | 26 Fe 1.8 | 27 Co 1.8 | 28 Ni 1.8 | 29 Cu 1.9 | 30 Zn 1.6 | 31 Ga 1.6 | 32 Ge 1.8 | 33 As 2.0 | 34 Se 2.4 | 35 Br 2.8 | 36 Kr 3.0 |
| 5 | 37 Rb 0.8 | 38 Sr 1.0 | 39 Y 1.2 | 40 Zr 1.4 | 41 Nb 1.6 | 42 Mo 1.8 | 43 Tc 1.9 | 44 Ru 2.2 | 45 Rh 2.2 | 46 Pd 2.2 | 47 Ag 1.9 | 48 Cd 1.7 | 49 In 1.7 | 50 Sn 1.8 | 51 Sb 1.9 | 52 Te 2.1 | 53 I 2.5 | 54 Xe 2.6 |
| 6 | 55 Cs 0.7 | 56 Ba 0.9 | 57 La 1.1 | 72 Hf 1.3 | 73 Ta 1.5 | 74 W 1.7 | 75 Re 1.9 | 76 Os 2.2 | 77 Ir 2.2 | 78 Pt 2.2 | 79 Au 2.4 | 80 Hg 1.9 | 81 Tl 1.8 | 82 Pb 1.8 | 83 Bi 1.9 | 84 Po 2.0 | 85 At 2.2 | 86 Rn 2.4 |
| 7 | 87 Fr 0.7 | 88 Ra 0.9 | 89 Ac 1.1 | 104 Rf --- | 105 Db --- | 106 Sg --- | 107 Bh --- | 108 Hs --- | 109 Mt --- | 110 Uun --- | 111 Uuu --- | 112 Uub --- | 113 | 114 Uuq --- | 115 | 116 Uuh --- | 117 | 118 Uuo --- |

سلسلةُ اللانثيدات

| 58 Ce 1.1 | 59 Pr 1.1 | 60 Nd 1.1 | 61 Pm 1.1 | 62 Sm 1.2 | 63 Eu 1.1 | 64 Gd 1.2 | 65 Tb 1.1 | 66 Dy 1.2 | 67 Ho 1.2 | 68 Er 1.2 | 69 Tm 1.3 | 70 Yb 1.1 | 71 Lu 1.3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 90 Th 1.3 | 91 Pa 1.5 | 92 U 1.4 | 93 Np 1.4 | 94 Pu 1.3 | 95 Am 1.3 | 96 Cm 1.3 | 97 Bk 1.3 | 98 Cf 1.3 | 99 Es 1.3 | 100 Fm 1.3 | 101 Md 1.3 | 102 No 1.3 | 103 Lr --- |

سلسلةُ الأكتينيدات



**الكهرسلبيةُ مقابلَ العددِ الذريّ**

الكهرسلبية

4.0 3.5 3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 0.5

الدورة 2 الدورة 3 الدورة 4 الدورة 5 الدورة 6 الدورة 7

He H F Li Cl Na Kr K Xe Rb Rn Cs

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

العددُ الذريّ

**الشكل 5-21** الرسمُ البيانيُّ يُظهِرُ الكهرسلبيةَ مقابلَ العددِ الذريِّ للدورات 1-6.

في المركَّباتِ قوى جذبٍ للإلكتروناتِ منخفضة. في المقابل عناصرُ النيتروجين والأكسجين والهالوجينات هي ذراتٌ ذاتُ كهرسلبيةٍ أعلى، وذراتُها تجذِبُ الإلكتروناتِ بقوةٍ في المركَّبات. عمومًا تميلُ الكهرسلبيةُ إلى الانخفاضِ من الأعلى إلى الأسفل في الزمرة، أو تبقى على ما هي عليه. أما الغازات النبيلة فتُعتبرُ شاذةً، لأن بعضَها لا يكوِّنُ مركَّبات، وبالتالي لا يمكنُ تعيينُ كهرسلبيةٍ له. لكنْ عندما يكوِّنُ الغازُ النبيلُ مركَّبًا تكونُ كهرسلبيتُهُ عاليةً جدًّا ومشابهةً لقيمِ الهالوجينات، وهذا موضَّحٌ بيانيًّا في **الشكل 5-21**.

**مسألةٌ نموذجية 5-7**

**أيٌّ من العناصرِ التاليةِ هو الأعلى كهرسلبية: الجاليوم Ga، أم البروم Br، أم الكالسيوم Ca؟ فسّر ذلك في ضوءِ تدرُّجِ الكهرسلبيةِ في الدورات.**

**الحلّ**

جميعُ هذه العناصرِ هي في الدورةِ الرابعة، والبروم لديهِ العددُ الذريُّ الأعلى، وهو الأبعدُ يمينًا في الدورة، لذلك يجبُ أن تكونَ له الكهرسلبيةُ الأعلى، لأن الكهرسلبيةَ تتزايدُ عبر الدورات .

**تمارينُ تطبيقية**

**1.** خذْ خمسةَ عناصرَ افتراضيةٍ من العناصرِ الرئيسة، E ، G ، J ، L، M، مع الترتيباتِ الإلكترونيةِ الخارجيةِ التالية:

$E = 2s^22p^5$ $G = 4d^{10}5s^25p^5$ $J = 2s^22p^2$ $L = 5d^{10}6s^26p^5$ $M = 2s^22p^4$

أ. حدِّدْ موقعَ المجمَّعِ لكلِّ عنصر. بعد ذلك حدِّدْ: أيُّ العناصرِ تنتمي إلى الدورةِ نفسِها؟ وأيُّها في الزمرةِ نفسِها؟

ب. أيُّ عنصرٍ تتوقعُ أن يكونَ لديه الألفة الإلكترونية الأعلى؟ أيُّ العناصرِ تتوقعُ أن يكوِّن أيونًا −1؟ أيٌّ منها لديهِ الكهرسلبيةُ الأعلى؟

ج. قارنْ بين نصفِ القطرِ الذريِّ للأيونِ النموذجيِّ المكوَّنِ من العنصر G وبين نصفِ قُطرِ ذراتِه المتعادلةِ كهربائيًّا.

د. أيُّ عنصرٍ (أو عناصرَ) يحتوي على سبعةِ إلكتروناتِ تكافؤ؟

**الأجوبة:**

**1.** أ. جميعُها في المجمَّع p، وتكونُ E و J و M موجودةً في الدورةِ نفسِها، و E و G و L في الزمرةِ نفسِها.

ب. E لديهِ أعلى ألفةٍ إلكترونية. و E وG وL من المرجَّحِ أن تكوِّنَ أيوناتٍ −1. و E لديهِ أعلى كهرسلبية.

ج. يجبُ أن يكونَ نصفُ القطرِ الأيونيِّ أكبر.

د. E، G و L

## مراجعةُ القسم 5-3

**1.** وضِّحْ تدرُّجَ الخواصِّ التاليةِ عبر الدورةِ والزمرةِ لزمرالعناصرِ الرئيسة وفقًا لـ:

أ. نصفِ القطرِ الذريّ

ب. طاقةِ التأينِ الأولى

ج. الألفةِ الإلكترونية

د. نصفِ القُطرِ الأيونيّ

هـ. الكهرسلبية

**2.** ما العلاقةُ بين رقمِ الزمرةِ وعددِ إلكتروناتِ التكافؤِ في عناصرِ الزمرة؟

**3.** أ. كيف تقارنُ، بشكلٍ عامّ، بين الخواصِّ الدوريةِ للعناصرِ الانتقاليةِ والخواصِّ الدوريةِ للعناصرِ الرئيسة؟

ب. فسِّرْ المقارناتِ التي وُضِعتَ في (أ).

# مراجعةُ الفصل 5

## ملخّصُ الفصل

**1-5**

- نصَّ القانونُ الدوريُّ الدوليُّ على أن الخواصَّ الفيزيائيةَ والكيميائيةَ للعناصرِ تتعلّقُ بدوريةِ أعدادِها الذرية.
- الجدولُ الدوريُّ هو ترتيبٌ للعناصرِ بحسبِ تزايدِ أعدادِها الذرية، بحيثُ تقعُ العناصرُ المتشابهةُ في الخواصِّ في العمودِ نفسِه.
- الأعمدةُ في الجدولِ الدوريِّ تُسمَّى الزمر.

### المفردات

| | | | |
|---|---|---|---|
| الأكتينيدات | (118) actinides | القانونُ الدوريّ | (117) periodic law |
| اللانثنيدات | (117) lanthanides | الجدولُ الدوريّ | (117) periodic table |

**2-5**

- تُسمّى الصفوفُ في الجدولِ الدوريِّ «الدورات».
- يُفسَّرُ العديدُ من الخواصِّ الكيميائيةِ للعناصرِ من خلالِ ترتيباتِها الإلكترونيةِ الخارجيةِ الأبعد.
- تُظهرُ الغازاتُ النبيلةُ استقرارًا كيميائيًّا فريدًا، لأن مستوياتِ الطاقةِ الأعلى المشغولةَ فيها تمتلئُ بثمانيةِ إلكترونات، $ns^2np^6$ (باستثناءِ الهيليوم الذي يرتبطُ استقرارُهُ بمستواهُ الأعلى المشغول، والمشبع بإلكترونين، $1s^2$).
- على أساسِ الترتيباتِ الإلكترونيةِ للعناصر، يمكنُ تقسيمُ الجدولِ الدوريِّ إلى أربعةِ مجمَّعات: المجمَّع $s$، المجمَّع $p$، المجمَّع $d$، والمجمَّع $f$.

### المفردات

| | | | |
|---|---|---|---|
| الفلِزّاتُ القلوية | (124) alkali metal | العناصرُ الرئيسة | (128) main-group elements |
| الفلِزّاتُ القلويةُ الأرضية | (124) alkaline-earth metal | العناصرُ الانتقالية | (126) transition elements |
| الهالوجينات | (129) halogens | | |

**3-5**

- تُظهرُ الزمرُ والدوراتُ في الجدولِ الدوريِّ تدرّجَ الخواصِّ التاليةِ للعناصر: الألفةِ الإلكترونية، الكهرسلبية، طاقةِ التأين، نصفِ القطرِ الذري، نصفِ القطرِ الأيوني.
- الإلكتروناتُ المتوفرةُ في ذرةٍ معينة، والإلكتروناتُ التي يمكنُ أن تُفقَدَ أو تُكتسَبَ أو تُشارِكَ بها الذرةُ في تكوينِ مركَّباتٍ كيميائية، تُسمّى إلكتروناتِ التكافؤ.
- عند تحديدِ الترتيبِ الإلكترونيِّ لأيونٍ معيَّن، يكونُ التسلسلُ المتَّبعُ لانتزاعِ الإلكتروناتِ من الذرةِ عكسَ التسلسلِ الذي يعطيهِ ترميزُ الترتيبِ الإلكترونيِّ لتلك الذرة.

### المفردات

| | | | |
|---|---|---|---|
| الأنيون | (141) anion | الأيون | (135) ion |
| نصفُ القُطرِ الذريّ | (132) atomic radius | التأين | (135) ionization |
| الكاتيون | (141) cation | طاقةُ التأين | (135) ionization energy |
| الألفةُ الإلكترونية | (139) electron affinity | إلكتروناتُ التكافؤ | (142) valence electrons |
| الكهرسلبية | (143) electronegativity | | |

## مراجعةُ المفاهيم

1. صفِ المساهماتِ التي قامَ بها كلٌّ من العلماءِ التاليةِ أسماؤهم في تطويرِ الجدولِ الدوريّ:
   أ. ستانسيلاو كانيزارو
   ب. ديمتري مندلييف
   ج. هنري موزلي
2. اذكرِ القانونَ الدوريّ.
3. بيِّنْ كيف يَظهرُ القانونُ الدوريُّ من خلالِ الزمرِ في الجدولِ الدوريّ.
4. أ. قارنْ بين الترتيباتِ الإلكترونيةِ لعناصرِ الزمرِ الواحدة.
   ب. لماذا تكونُ الغازاتُ النبيلةُ نسبيًّا غيرَ نشطةٍ كيميائيًّا؟
5. ماذا يحدِّدُ طولَ كلِّ دورةٍ في الجدولِ الدوريّ؟
6. ما العلاقةُ بين الترتيبِ الإلكترونيِّ لعنصرٍ معيَّنٍ وبين الدورةِ التي يقعُ فيها هذا العنصرُ في الجدولِ الدوريّ؟

7. أ. ما المعلوماتُ التي يمكنُ استخلاصُها حول عنصرٍ ما، إذا حُدِّدَ موقعُهُ في مجمَّعٍ معيَّن؟
ب. حدِّدْ بالأرقامِ الزمرِ المتواجدةَ في كلٍّ من مناطقِ المجمَّعاتِ الأربعة.

8. أ. أيُّ العناصرِ اسمُها فِلِزّاتٌ قلوية؟
ب. اذكرْ أربعَ خواصَّ تميِّزُ الفلزّاتِ القلوية.

9. أ. أيُّ العناصرِ اسمُها الفلزّاتُ القلويةُ الأرضية؟
ب. قارن بين خواصِّها المميِّزةِ وبين خواصِّ الفلزّاتِ القلوية.

10. أ. اكتبْ ترميزَ الترتيبِ الإلكترونيِّ العاديِّ لكلِّ زمرةٍ في المجمَّعِ $-d$.
ب. كيفَ ترتبطُ أرقامُ هذه الزمرِ بعددِ الإلكتروناتِ الخارجيةِ لـ $d$ و $s$؟

11. ما الاسمُ الذي يُستعمَلُ أحيانًا للإشارةِ إلى كلِّ عناصرِ المجمَّع $d$ ؟

12. أ. ما أنواعُ العناصرِ المكوِّنةِ للمجمَّع $p$؟
ب. كيف تقارنُ بين خواصِّ فلزّاتِ المجمَّع $p$ وخواصِّ الفلزّاتِ في المجمَّعين $s$ و $d$؟

13. أ. أيُّ العناصرِ تُسمّى الهالوجينات؟
ب. اذكرْ ثلاثًا من خواصِّها المميِّزة.

14. أ. أيُّ العناصرِ هي «شبهُ فلزِّية» ؟
ب. صفْ خواصَّها المميِّزة.

15. أيُّ العناصرِ تكوِّنُ المجمَّعَ $f$ في الجدولِ الدوريّ؟

16. أ. ما العناصرُ الرئيسة؟
ب. ما الخواصُّ التي تتدرجُ عبر الدوراتِ المختلفةِ ضمنَ العناصرِ الرئيسة.

17. أ. ما المقصودُ بنصفِ القُطرِ الذريّ؟
ب. كيف يتدرَّجَ نصفُ القُطرِ الذريِّ للعناصرِ الرئيسةِ عبرَ دورةٍ محددة؟
ج. كيف يمكنُ تفسيرُ هذا التدرُّج؟

18. أ. كيف يتدرَّجَ نصفُ القُطرِ الذريِّ للعناصرِ الرئيسة نزولاً في الزمرة؟
ب. كيف يمكنُ تفسيرُ هذا التدرج؟

19. عرِّفْ كلاًّ من المفاهيمِ والمصطلحاتِ التالية:
أ. أيون
ب. التأين
ج. طاقةُ التأينِ الأولى
د. طاقةُ التأينِ الثانية

20. أ. كيف تتغيرُ طاقاتُ التأينِ الأولى للعناصرِ الرئيسةِ عبر الدورة، ونزولاً في الزمرة؟
ب. اشرحْ كلَّ تدرُّج.

21. أ. ما الألفةُ الإلكترونية؟
ب. ما الإشاراتُ الملازمةُ لقيمِ الألفةِ الإلكترونية، وما معنى كلِّ إشارة؟

22. أ. ميِّز بين الكاتيون والأنيون؟
ب. كيف يقارَنُ حجمُ كلٍّ منهما بحجمِ الذرةِ المتعادلةِ التي تكوَّنَ منها؟

23. أ. ما إلكتروناتُ التكافؤ؟
ب. أين تقعُ هذه الإلكترونات؟

24. في كلٍّ من الزمرِ التالية، حدِّدْ ما إذا كانتِ الإلكتروناتُ ستُفقَدُ أو تُكتَسبُ خلال تكوُّنِ المركَّب. ما عددُ الإلكتروناتِ المعنيّةِ فعليًّا؟

| | | | |
|---|---|---|---|
| أ. | الزمرة 1 | د. | الزمرة 16 |
| ب. | الزمرة 2 | هـ. | الزمرة 17 |
| ج. | الزمرة 13 | و. | الزمرة 18 |

25. أ. ما الكهرسلبية؟
ب. لماذا يتميزُ الفلورُ بالكهرسلبيةِ الأعلى ؟

26. حدِّدْ في الجدولِ الدوريِّ زمر العناصرِ ذاتِ الكهرسلبيةِ الأدنى وذاتِ السالبيةِ الأعلى؟

## مسائل

### الترتيبُ الإلكترونيُّ والخواصُّ الدورية

27. اكتبْ ترميزَ الغازِ النبيلِ للترتيبِ الإلكترونيِّ لكلٍّ من العناصرِ التالية، وحدِّدِ الدورةَ التي ينتمي إليها كلٌّ منها:
أ. Li
ب. O
ج. Cu
د. Br
هـ. Sn

**28.** حدِّدْ من دونِ الرجوعِ إلى الجدولِ الدوريِّ، الدورةَ، والمجمَّعَ، والزمرةَ، للعناصرِ ذات الترتيباتِ الإلكترونيةِ التالية:

أ. $[Ne]3s^23p^4$

ب. $[Kr]4d^{10}5s^25p^2$

ج. $[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^26p^5$

**29.** استنادًا إلى المعلوماتِ المعطاةِ تاليًا، حدِّدِ الزمرةَ والدورةَ والمجمَّعَ، والاسمَ لكلِّ عنصر:

أ. $[He]2s^2$

ب. $[Ne]3s^1$

ج. $[Kr]5s^2$

د. $[Ar]4s^2$

هـ. $[Ar]3d^54s^1$

**30.** اكتبْ من دونِ الرجوعِ إلى الجدولِ الدوريّ، الترتيبَ الإلكترونيَّ الخارجيَّ لكلٍّ من العناصرِ الواقعةِ في:

أ. الزمرةِ 7، الدورةِ الرابعة.

ب. الزمرةِ 3، الدورةِ الخامسة.

ج. الزمرةِ 12، الدورةِ السادسة.

**31.** حدِّدِ المجمَّعَ، والدورةَ، والزمرةَ، واسمَ الزمرةِ (حيث أمكن)، واسمَ العنصر، ونوعَه، والنشاطَ الكيميائيَّ النسبيَّ للعناصرِ ذاتِ الترتيباتِ الإلكترونيةِ التالية:

أ. $[Ne]3s^23p^1$

ب. $[Ar]3d^{10}4s^24p^6$

ج. $[Kr]4d^{10}5s^1$

د. $[Xe]4f^15d^16s^2$

## نصفُ القُطرِ الذريّ، التأين، الألفةُ الإلكترونية، الكهرسلبية

**32.** أيُّ العناصرِ التاليةِ نصفُ قطرِهِ الذرِّيِّ أصغر: السيزيوم Cs، الهفنيوم Hf، الذهب Au؟ وضِّحْ إجابتَكَ حسبَ تدرُّجِ نصفِ القُطرِ الذريِّ في الجدولِ الدوريّ؟

**33.** أ. وضِّحْ ما المقصود بطاقاتِ التأينِ الأولى والثانية والثالثة، لعنصرٍ معيَّن.

ب. فيمَ تتشابهُ طاقاتُ التأينِ المتتالية (الأولى والثانية والثالثة)؟

ج. لماذا يحصُلُ ذلك؟

**34.** رتِّبْ من دونِ الرجوعِ إلى جدولِ الألفةِ الإلكترونية، العناصرَ التاليةَ تنازليًّا تبعًا للألفةِ الإلكترونية: C، O، Li، Na، Rb، F.

**35.** أ. رتِّبْ من دونِ الرجوعِ إلى جدولِ طاقةِ التأين، العناصرَ التاليةَ تنازليًّا تبعًا لطاقةِ التأينِ الأولى: Li، O، C، K، Ne، F.

ب. أيٌّ من العناصرِ التي ذُكرتْ تتوقَّعُ أن يكونَ لديه طاقةُ التأينِ الثانيةُ الأعلى؟ لماذا؟

**36.** أ. تكوِّنُ أيٌّ من الكاتيوناتِ التاليةِ أقلُّ ترجيحًا: $Sr^{2+}$، $Al^{3+}$، $K^{2+}$؟

ب. تكوِّنُ أيٌّ من الأنيوناتِ التاليةِ أقلُّ ترجيحًا: $I^-$، $Cl^-$، $O^{2-}$؟

**37.** أيُّ العناصرِ التاليةِ لديه الكهرسلبيةُ الأعلى: C، N، O، S، Br؟ إلى أيِّ زمرةٍ ينتمي؟ (تذكير: راجع **المسألة النموذجية 5-7**).

**38.** كلٌّ من الأيونَيْن $K^+$ و $Ca^{2+}$ لديه 18 إلكترونًا حول النواة. أيُّهما تتوقَّعُ أن يكونَ نصفُ قطرِهِ الذرِّيِّ أصغر؟ لماذا؟

## مراجعةٌ متنوّعة

**39.** حدِّدْ من دونِ الرجوعِ إلى الجدولِ الدوريّ الدورةَ والمجمَّعَ والزمرةَ التي يقعُ فيها كلٌّ من العناصرِ التالية:

أ. $[Rn]7s^1$

ب. $[Ar]3d^24s^2$

ج. $[Kr]4d^{10}5s^1$

د. $[Xe]4f^{14}5d^96s^1$

**40.** أ. أيُّ العناصرِ تُسمّى غازات نبيلة؟

ب. ما أهمُّ خاصةٍ تتميزُ بها هذه العناصر؟

**41.** أيُّ العناصرِ التاليةِ لا يمتلكُ ترتيبَ الغازِ النبيل: $Na^+$، $Rb^+$، $O^{2-}$، $Br^-$، $Ca^+$، $Al^{3+}$، $S^{2-}$؟

**42.** أ. كم زمرةً يوجدُ في الجدولِ الدوريّ؟

ب. كم دورةً يوجدُ في الجدولِ الدوريّ؟

ج. أيُّ مجمَّعين من الجدولِ الدوريِّ يمثلانِ العناصرَ الرئيسة؟

**43.** اكتبْ لكلٍّ من العناصرِ التالية، ترميزَ الغازِ النبيلِ للترتيبِ الإلكترونيّ، وأشرْ إلى الدورةِ والزمرةِ التي ينتمي إليهما كلٌّ منهما:

أ. Mg ب. P

ج. Sc		د. Y

**44.** استعمل الجدولَ الدوريَّ لوصفِ الخواصِّ الكيميائيةِ لكلٍّ من العناصرِ التالية:

أ. الفلور F

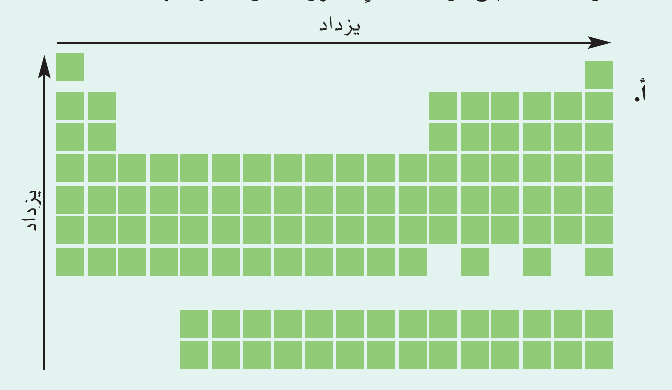
ب. الزينون Xe

ج. الصوديوم Na

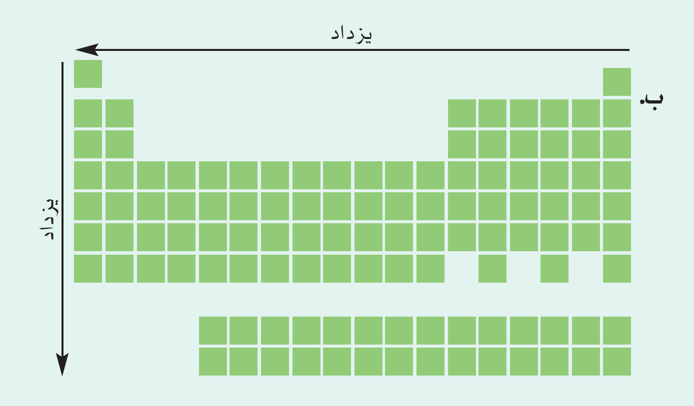
د. الذهب Au

**45.** أيُّ البياناتِ التاليةِ يصفُ تدرُّجَ نصفِ القُطرِ الذريّ، وطاقةَ التأين، والألفةَ الإلكترونية، والكهرسلبية؟

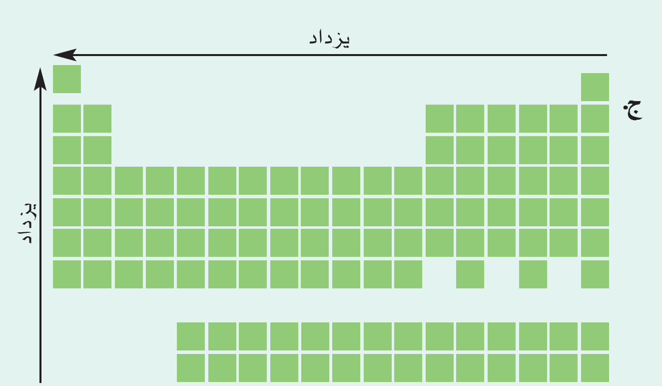
أ.




ب.




ج.




**46.** حدِّدْ لكلِّ عنصرٍ من العناصرِ التاليةِ شحنةَ الأيونِ المرجَّحِ وجودُه، وهويةَ الغازِ النبيلِ بترتيبِه الإلكترونيِّ المتكوِّن؟

أ. Li	ب. Rb	ج. O	د. F

هـ. Mg	و. Al	ز. P	ح. S

ط. Br	ي. Ba

**47.** صفْ بعضَ الاختلافاتِ الموجودةِ بين عناصرِ المجمَّعِ $s$– وعناصرِ المجمَّعِ $d$–.

**48.** لماذا تكوِّنُ الهالوجيناتُ أيوناتِ 1– بسهولة؟

**49.** الترتيبُ الإلكترونيُّ للأرجون يختلفُ عن الترتيبِ الإلكترونيِّ للكلورِ والبوتاسيوم بإلكترونٍ واحد. قارنْ بينَ النشاطِ الكيميائيِّ لهذه العناصرِ الثلاثة.

## بحثٌ وكتابة

**50.** اكتب تقريرًا تعرضُ فيه تطوُّرَ الجدولِ الدوريِّ منذُ العام 1900. اذكرْ أسماءَ الكيميائيينَ الذين اشتركوا في تطويرِ الجدولِ الدوريّ، وحدِّدْ مساهمةَ كلٍّ منهم.

**51.** اكتبْ تقريرًا تذكرُ فيه مساهماتِ غلين سيبورغ في اكتشافِ العديدِ من عناصرِ الأكتينيدات.

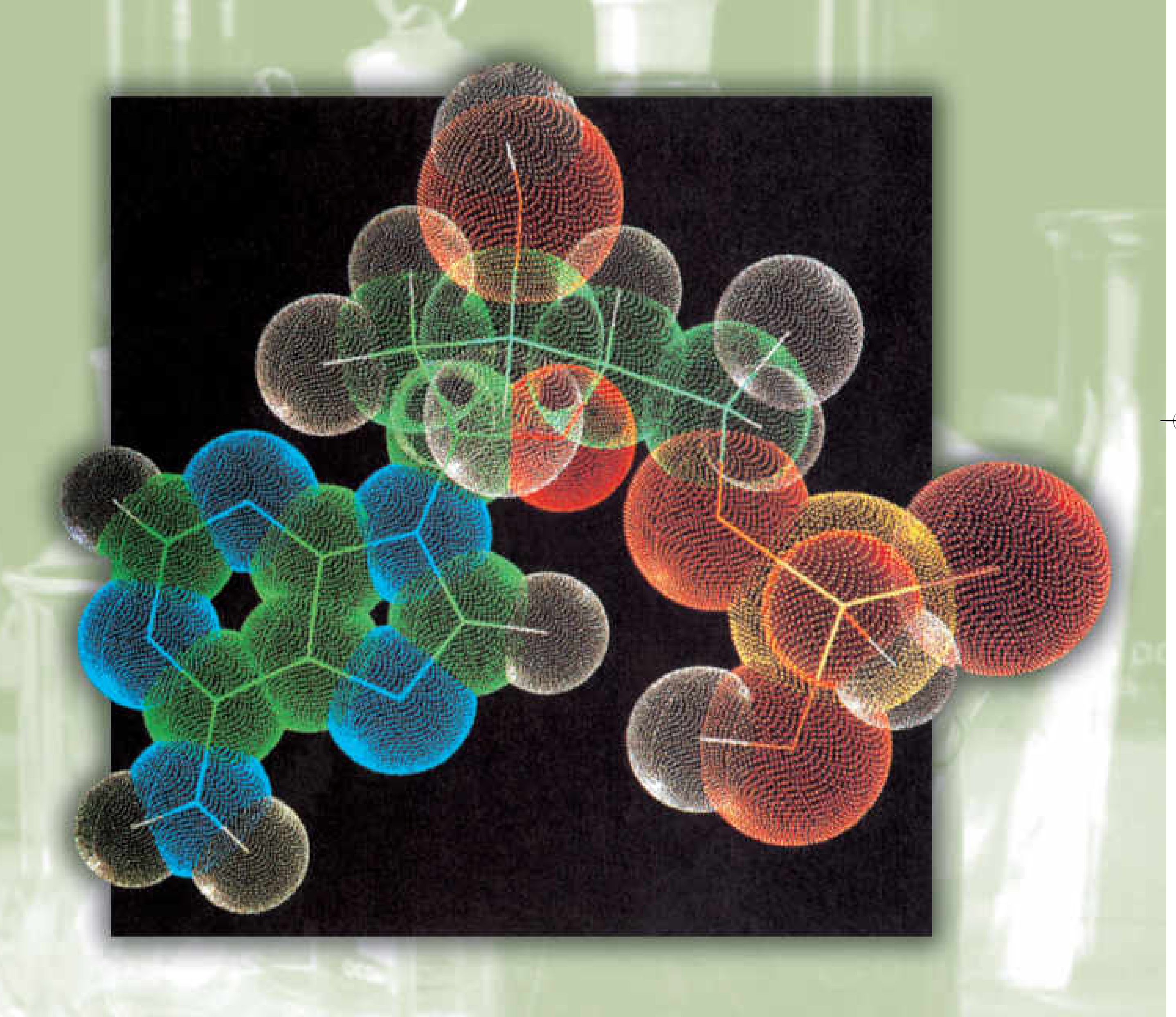
## التقويمُ البديل

**52.** سيعطيكَ أستاذُكَ بطاقةً للفهرسةِ حُدِّدتْ فيها الكهرسلبيةُ وطاقةُ التأينِ والألفةُ الإلكترونية لعنصرٍ معيَّن. تعرَّفْ العنصرَ من خلالِ تحليلِ خواصِّهِ عبر الدورةِ والزمرة.

**53.** حضِّرْ بنفسِك جدولاً دوريًّا، أو أحضِرْ ملصقًا يبيِّنُ العلاقةَ بين أجسامٍ معيَّنة، كالفواكهِ أو الخضار، ضمنَ ترتيبٍ دوريّ. صفْ تنظيمَ الجدولِ وتدرُّجَ الخواصِّ التي يبيِّنُها. استخدمْ هذا الجدولَ لتوقُّعِ موادَّ جديدةٍ من صِنفِ الأجسامِ التي تضمنَها الجدول.

الفصـــل 6

# التآصُرُ الكيميائيّ



**في الطبيعةِ، معظمُ الذرّاتِ ترتبطُ مع ذرّاتٍ أخرى بأواصرَ كيميائية**

**القسم 1-6**

# مقدِّمةٌ للتآصرِ الكيميائيّ

## النواتجُ التعليمية

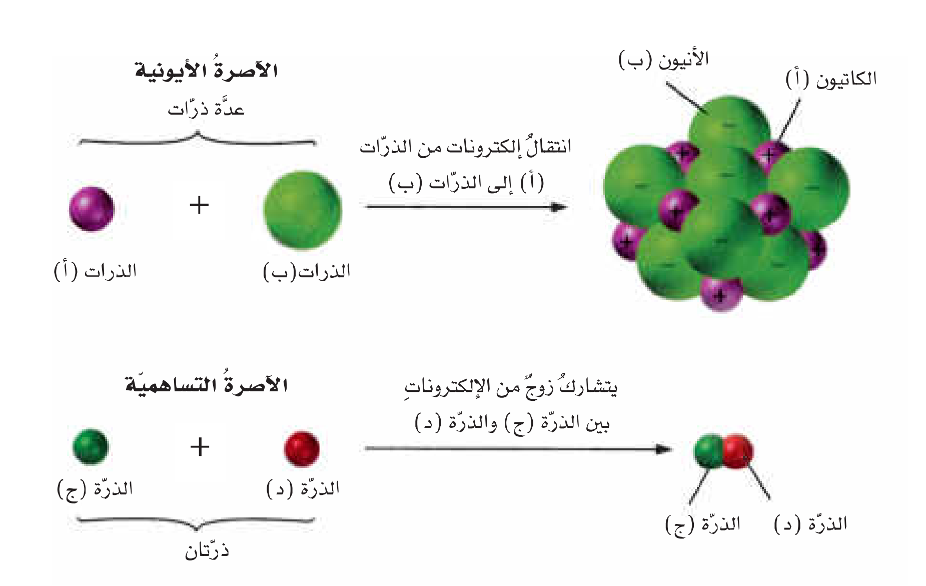
- يعرِّفُ الآصرةَ الكيميائية.
- يفسِّرُ سببَ تكوينِ الذرّاتِ للأواصرِ الكيميائية.
- يصفُ التآصرَ الأيونيَّ والتساهميّ.
- يفسِّرُ لماذا لا يكونُ التآصرُ في معظمِهِ أيونيًّا أو تساهميًّا صرفًا.
- يصنِّفُ نوعيةَ التآصرِ طبقًا لفرقِ الكهرسلبية.

من النادرِ جدًّا وجودُ ذرّاتٍ منفردةٍ في الطبيعة. فالهواءُ الذي نتنفسُه، والماءُ الذي يدخلُ في تركيبِ أجسادِنا، وكلُّ الموادِّ الأخرى تتألفُ عادةً من ذرّاتٍ متماسكةٍ بأواصرَ كيميائية. **فالآصرةُ الكيميائيةُ** chemical bond هي تجاذبٌ كهربائيٌّ متبادلٌ بين نوى والكتروناتِ تكافؤٍ مختلفةٍ يجعلُها متآصرةً.

لماذا تتآصرُ معظمُ الذرّاتِ كيميائيًّا؟ عندما تتواجدُ الذراتُ بصورةٍ منفردةٍ تكونُ أقلَّ استقرارًا لأنها أكثرُ طاقة. لكنْ عندما تتآصرُ هذه الذرّاتُ تقلُّ طاقتُها الكامنة، فينتجُ من ذلك ترتيباتٌ للمادةِ أكثرُ استقرارًا.

## أنواعُ التآصرِ الكيميائيّ

عند تآصرِ الذرّات، يعادُ توزُّعُ إلكتروناتِ التكافؤِ بطريقةٍ تجعلُها أكثرَ استقرارًا. وتحدِّدُ كيفيةُ هذا التوزّعِ نوعيةَ التآصر. من المعلومِ أنَّ الفلزّاتِ تميلُ إلى فَقدِ الإلكتروناتِ لتكوينِ أيوناتٍ موجبةٍ أي كاتيونات، بينما تميلُ اللافلزّاتُ إلى اكتسابِ الإلكتروناتِ لتكوينِ الأيوناتِ السالبةِ أي الأنيونات. **والآصرةُ الأيونيةُ** ionic bond هي الآصرةُ الكيميائيةُ الناتجةُ من التجاذبِ الكهربائيِّ بين أعدادٍ كبيرةٍ من الأنيوناتِ والكاتيونات. تتخلّى الذرّاتُ في التآصرِ الأيونيِّ الصرفِ تمامًا عن إلكتروناتِها لذرّاتٍ أخرى، كما يظهرُ في **الشكل 1-6**. وعلى النقيض، تتآصرُ الذرّاتُ في التآصرِ التساهميِّ بتشاركِها في إلكتروناتِها. **والآصرةُ التساهميّةُ** covalent bond تَنْتُجُ من تشاركِ ذرّتين في أزواجٍ من الإلكترونات. تكونُ الإلكتروناتُ المشتركةُ «ملكًا» بالتساوي للذرّتينِ المتآصرتينِ في الآصرةِ التساهميّةِ الصرفة. (لاحظِ **الشكل 1-6**)




**الشكل 1-6** في الآصرةِ الأيونيةِ يحدثُ فَقدٌ واكتسابٌ لأعدادٍ كبيرةٍ من الإلكتروناتِ فيما بين الذرات، وينتجُ من ذلك أنيوناتٌ وكاتيوناتٌ تتجاذبُ كهربائيًّا.

## كيفَ تُحدِّدُ نوعَ المركَّب، أيونيٌّ هو أم تساهميّ؟

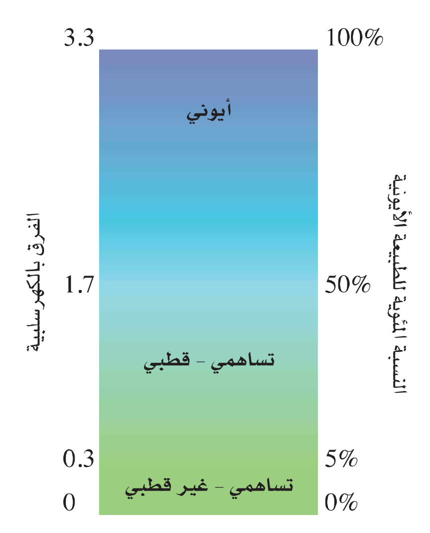
لا يمكنُ الحكمُ على أيِّ آصرةٍ بأنها أيونيةٌ أو تساهميةٌ بشكلٍ مطلق، لأنَّ نوعَ الآصرةِ المتكونةِ يتوقفُ على قوةِ جذبِ الذرةِ للإلكتروناتِ التي تُعرفُ بالكهرسلبية. ويمكنُ تقديرُ الطابعِ الأيونيِّ أو التساهميِّ باحتسابِ فرقِ الكهرسلبيةِ بين العنصرين (**الشكل 6-2**).

من الأمثلةِ على ذلك يكونُ فرقُ الكهرسلبيةِ بين ذرّةِ الفلور (F) وذرّةِ السيزيوم (Cs) مساويًا لـ $3.3 = 0.7 - 4.0$ (ارجعْ إلى **الشكل 5-20** للجدول الدوريّ، حيثُ قيمُ الكهرسلبية). وتبعًا لهذا الشكل، يكونُ التآصرُ بين الفلورِ والسيزيوم (Cs-F) أيونيًّا.

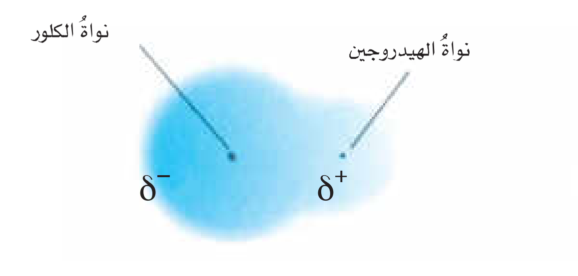
وبشكلٍ عامّ، عندما لا يتعدى فرقُ الكهرسلبيةِ بين عنصرين 1.7 تكونُ الآصرةُ تساهميةً (لأنَّ الطابعَ الأيونيَّ يقدّرُ بأقلَّ من 50%). ويكونُ التآصرُ بين ذرّتي العنصرِ الواحدِ تساهميًّا دائمًا. الهيدروجين، مثلاً، يتواجدُ في الطبيعةِ بشكلِ أزواجٍ من الذرّاتِ متآصرةٍ تساهميًّا، وليسَ بشكلِ ذرّاتٍ منفردة، فيكونُ الطابعُ الأيونيُّ معادلاً لـ 0%. تُسمّى هذه الآصرةُ تساهميةً. في هذه الآصرة، تتقاسمُ الذرّاتُ المتآصرةُ الإلكتروناتِ المشتركةَ بالتساوي فيما بينها، فينتجُ توزيعٌ متكافىءٌ للشحنةِ الكهربائية. وبشكلٍ عامّ، إذا كانتْ فروقُ الكهرسلبيةِ بين 0 و0.3 (النسبةُ المئويةُ للطابعِ الأيونيِّ بين 0% و 5%)، تكونُ **الآصرةُ تساهميةً غيرَ قطبية** nonpolar-covalent bond. أما إذا كانتْ فروقُ الكهرسلبيةِ كبيرة، أي بين 0.3 و1.7 (النسبةُ المئويةُ للطابعِ الأيونيِّ بين 5% و 50%)، فالإلكتروناتُ تنجذبُ بشدّةٍ نحوَ الذرّةِ الأكثرِ سالبية. وتُسمّى **الآصرةُ تساهمية قطبيةً** polar covalent bond. وتعني **القطبية** polar هنا أنَّ الشحناتِ تتوزّعُ بصورةٍ غيرِ متساويةٍ بين الذرات.

في **الشكل 6-3** قورنتِ الأواصرُ غيرُ القطبيةِ والأواصرُ القطبيةُ بحيثُ يتوضّحُ توزّعُ الكثافةِ الإلكترونيةِ بين أواصرِ الهيدروجين ـ هيدروجين، والهيدروجين – كلور.

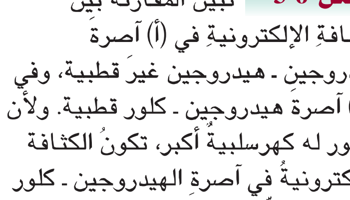
يبلغُ فرقُ الكهرسلبيةِ بين الهيدروجينِ والكلورِ $0.9 = 2.1 - 3.0$، مما يدلُّ على أنَّ الآصرةَ تساهميةٌ – قطبية. تكونُ الإلكتروناتُ في هذه الآصرةِ أكثر قربًا إلى ذرّةِ الكلور، ذاتِ الكهرسلبيةِ الأكبر، منها إلى ذرّةِ الهيدروجينِ ذاتِ الكهرسلبيةِ الأصغر، كما هو موضّحٌ في **الشكل 6-3** (ب). وبالنتيجة، يحملُ الكلورُ شحنةً سالبةً جزئيةً يشارُ إليها بالرمزِ $\delta^-$، ويحملُ الهيدروجينُ شحنةً موجبةً جزئيةً يشارُ إليها بالرمزِ $\delta^+$.




**الشكل 6-2** فروقاتُ الكهرسلبيةِ تعبِّرُ عن طابعِ الآصرةِ بين عنصرين. ويقدّرُ الطابعُ الأيونيُّ أو التساهميُّ باحتسابِ فروقاتِ الكهرسلبية، فكلّما كانَ الفرقُ كبيرًا عُدّتِ الآصرةُ أكثرَ أيونية.




(**ب**) آصرةٌ تساهميةٌ قطبية




(أ) آصرةٌ تساهميةٌ غيرُ قطبية

**الشكل 6-3** تبيِّنُ المقارنةُ بين الكثافةِ الإلكترونيةِ في (أ) آصرة هيدروجين ـ هيدروجين غيرَ قطبية، وفي (ب) آصرة هيدروجين ـ كلور قطبية. ولأن الكلور له كهرسلبيةٌ أكبر، تكونُ الكثافة الإلكترونيةُ في آصرةِ الهيدروجين ـ كلور أكبرَ حول ذرّةِ الكلور.

## مسألةٌ نموذجية 1-6

**حدِّدْ نوعَ الآصرةِ بين الكبريتِ S والعناصرِ التالية: الهيدروجين H والسيزيوم Cs والكلور Cl مستعينًا بفروقِ الكهرسلبيةِ وبالشكل 2-6، وحدِّدْ، في كلِّ زوج، أيَّ الذرّاتِ تُعدُّ الأكثرَ جذبًا؟**

**الحلّ**

الكهرسلبيةُ للكبريتِ S هي 2.5. أما بالنسبةِ إلى بقيةِ العناصرِ H، Cs، و Cl فهي على التوالي 2.1، 0.7، 3.0. في كلِّ زوجٍ تكونُ الذرّةُ الأكثرُ كهرسلبيةً هي الذرّةَ الأكثرَ جذبًا للإلكترونات؟

| التآصرُ بين الكبريتِ والعناصر | فرقُ الكهرسلبيةِ | نوعُ الآصرة | الذرّةُ الأكثرُ سالبية |
|---|---|---|---|
| H | $2.5 - 2.1 = 0.4$ | تساهميةٌ قطبية | الكبريت |
| Cs | $2.5 - 0.7 = 1.8$ | أيونية | الكبريت |
| Cl | $3.0 - 2.5 = 0.5$ | تساهميةٌ قطبية | الكلور |

## تمارينُ تطبيقية

حدِّدْ نوعَ التآصرِ بين الكلورِ والعناصرِ التالية: الكالسيوم (Ca) والأكسجين (O) والبروم (Br). مستعينًا بفروقِ الكهرسلبيةِ **وبالشكل 2-6**، أيُّ الذرّاتِ هي أكثرُ سالبية؟

**الأجوبة:**

| التآصرُ بين الكلور والعناصر | فرقُ الكهرسلبية | نوعُ الآصرة | الذرةُ الأكثرُ سالبية |
|---|---|---|---|
| Ca | $3.0 - 1.0 = 2.0$ | أيونية | الكلور |
| O | $3.5 - 3.0 = 0.5$ | تساهميةٌ قطبية | الأكسجين |
| Br | $3.0 - 2.8 = 0.2$ | تساهميةٌ غير قطبية | الكلور |

## مراجعةُ القسم 1-6

**1.** قارنْ بين الآصرةِ التساهميةِ والآصرةِ الأيونية.

**2.** ما دورُ الكهرسلبيةِ في تحديدِ نوعيةِ الآصرةِ بين عنصرين؟

**3.** ما نوعُ الآصرةِ التي تحصلُ بين الذرّاتِ التالية:

أ. Cu و S

ب. I و Br

**4.** رتِّبْ زوجي الذرّاتِ في السؤالِ 3 بطريقةٍ تصاعديةٍ وفقًا للطبيعةِ الأيونيةِ فيما بينها.

## القسم 2-6

### النواتجُ التعليمية

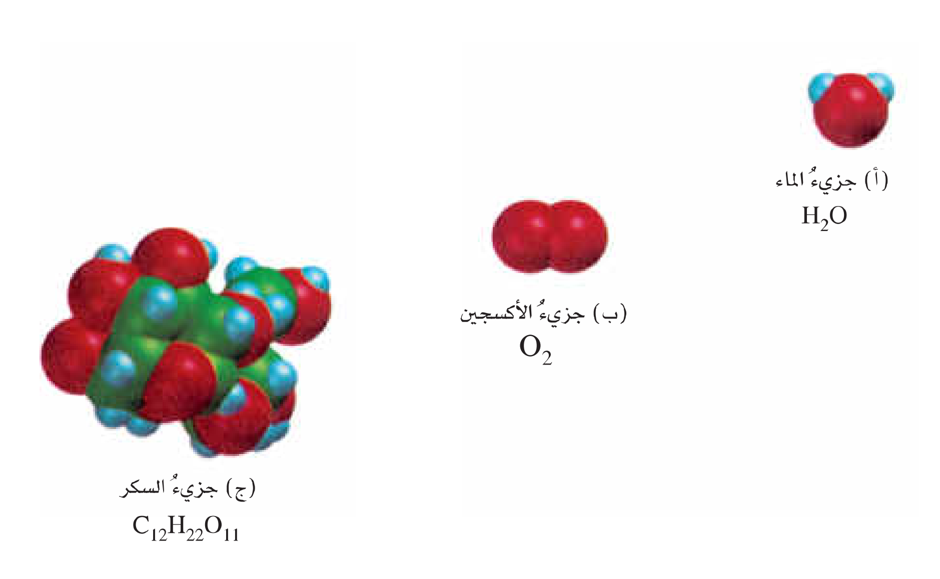
- يعرّفُ الجزيءَ والصيغةَ الجزيئية.
- يوضحُ العلاقاتِ بين الطاقةِ الكامنةِ والمسافةِ بين الذرّاتِ المتقاربةِ وطولِ الآصرةِ وطاقتِها.
- يذكرُ قانونَ الثمانية.
- يوظِّفُ المراحلَ الأساسيةَ الستَّ التي تُستعملُ في رسمِ تراكيبَ لويس.
- يوضّحُ كيفيةَ تحديدِ تراكيب لويس للجزيئاتِ التي تتضمنُ أواصرَ أحاديةً أو متعددة، أو كليهما.

# الآصرةُ التساهميّةُ والمركّباتُ الجزيئيّة

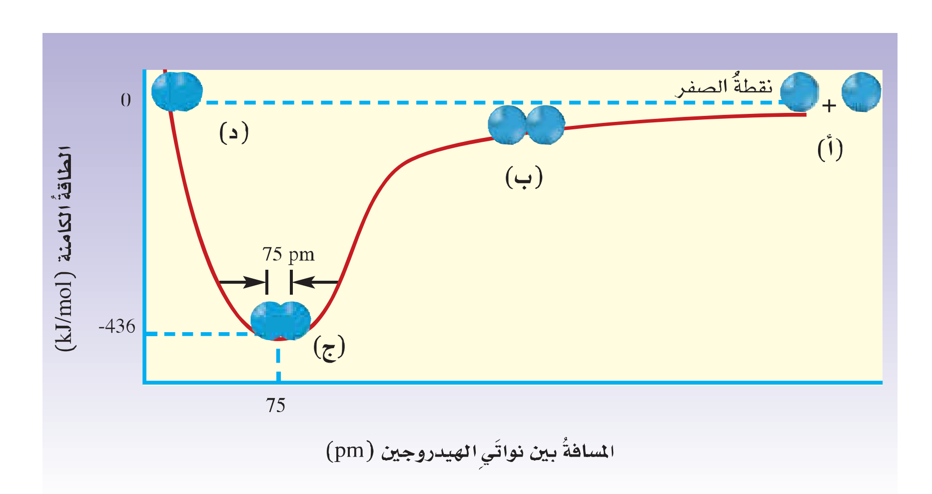
تتألّفُ غالبيةُ المركَّباتِ الكيميائيةِ من جزيئات، بما فيها معظمُ الموادِّ الكيميائيةِ الموجودةِ في الكائناتِ الحيّةِ والكائناتِ التي تصنعُها الكائناتُ الحيّة. **والجزيءُ** molecule مجموعةٌ متعادلةٌ من الذرّاتِ التي ترتبطُ فيما بينها بأواصرَ تساهمية. جزيءُ أيِّ مركَّبٍ كيميائيٍّ هو وحدةٌ منفردةٌ مستقلّةٌ مؤلَّفةٌ من ذرّتينِ أو أكثرَ من العنصرِ نفسِه، كما في جزيءِ الأكسجين، أو من ذرّتينِ أو أكثرَ من عناصرَ مختلفةٍ كما في جزيئاتِ الماءِ أو السكّر (انظرِ **الشكل 4-6**).

**والمركّباتُ الجزيئيةُ** molecular compounds هي المركّباتُ الكيميائيةُ التي تتألّفُ أبسطُ وحداتِها من «جزيئات». ويمكنُ الاستدلالُ على تركيبةِ أيِّ مركّب، من خلالِ صيغتِه الكيميائية. **الصيغةُ الكيميائيةُ** chemical formula هي تركيبةُ الرموزِ التي تدلُّ على العناصرِ والعددِ النسبيِّ لذرّاتِ كلٍّ من العناصرِ المكوِّنةِ لمركّبٍ كيميائيّ.

تُسمَّى الصيغةُ الكيميائيةُ للمركّباتِ الجزيئيةِ «**الصيغةَ الجزيئية**» molecular formula، وهي تدلُّ على نوعِ وعددِ الذرّاتِ المتّحدةِ في جزيءٍ واحدٍ من جزيئاتِ المركّب. فالصيغةُ الجزيئيّةُ للماءِ $H_2O$، مثلاً، تبيّنُ أنَّ جزيئًا واحدًا للماءِ يتألّفُ من ذرّةٍ واحدةٍ من الأكسجينِ متّحدةٍ بآصرتينِ أحاديّتينِ مع ذرّتينِ من الهيدروجين. أما جزيءُ الأكسجين، فهو مثالٌ على **جزيءٍ ثنائيِّ الذرّة** diatomic molecule، أيِّ مؤلّف من ذرّتينِ من الأكسجين.




**الشكل 4-6** النماذج (أ) الماء (ب) الأكسجين (ج) السكّر. هذه أمثلةٌ قليلةٌ قياسًا على المركّباتِ الكثيرةِ المحيطةِ بنا والموجودةِ في أجسادِنا. تربطُ بين ذراتِ الجزيءِ أواصرُ تساهميةٌ (أحاديةٌ أو ثنائيةٌ أو ثلاثية).




**الشكل 6-5** تغيُّرُ مقدارِ الطاقةِ الكامنةِ خلالَ تكوُّنِ الآصرةِ في H-H. (أ) لا تتأثَّرُ الذرّتانِ الواحدةُ بالأخرى عندما تكونان متباعدتين، وهو ما يُعرَفُ بنقطةِ الصفر (ب) تقلُّ الطاقةُ الكامنةُ عند تجاذبِ الذرّتين (ج) تتدنّى الطاقةُ الكامنةُ إلى أدنى مستوى لها نتيجةَ تعادلِ قوى التجاذبِ والتنافرِ بين الشحناتِ في الذرتين (د) تتزايدُ الطاقةُ الكامنةُ عندما يفوقُ التنافرُ بين الشحناتِ المتشابهةِ التجاذبَ بين الشحناتِ المختلفة.

# تكوُّنُ الآصرةِ التساهميّة

يفسِّرُ ميلُ الذرّاتِ إلى التآصرِ على أساسِ أنَّ الطاقةَ الكامنةَ للذرّاتِ المتآصرةِ أقلُّ بكثيرٍ مما هي عليهِ فيما لو كانتْ منفردة. أبسطُ الأمثلةِ لتوضيحِ فكرةِ تكوُّنِ الآصرةِ التساهميّةِ تتمثَّلُ في H–H.

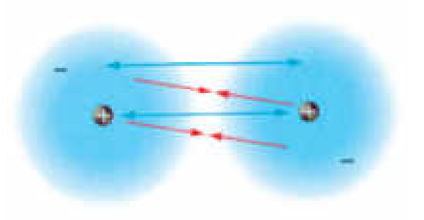
إذا كانتْ ذرتا الهيدروجينِ متباعدتينِ مسافةً كافيةً لمنعِ تأثيرِ الواحدةِ في الأخرى، يصبحُ كاملُ الطاقةِ الكامنةِ للذرّاتِ، عند هذه المسافة، مساويًا للصفر. (كما يظهرُ في **الشكل 6-5** (أ)).

ماذا يحدثُ لو تقاربتْ ذرّتا الهيدروجين؟ لكلِّ ذرّةِ H نواةٌ تحتوي على بروتونٍ واحدٍ موجبِ الشحنة، ويحيطُ بها إلكترونٌ واحدٌ سالبُ الشحنة.

إنَّ التفاعلَ بين هذهِ الجسيماتِ المشحونةِ يبدأُ عندَ تقاربِ الذرّتين (**الشكل 6-6**)، حيثُ تتجاذبُ النوى والإلكترونات، مما يؤدّي إلى تناقصٍ في إجماليِّ الطاقةِ الكامنةِ للذرّتين، ويؤدّي تنافرُ النواتينِ وكذلك الإلكترونينِ في الوقتِ نفسِه إلى زيادةٍ في الطاقةِ الكامنة. تتغيّرُ قوّةُ التجاذبِ أو التنافرِ بحسبِ المسافةِ الفاصلةِ بين الذرّات. وعند تقاربِ الذرّاتِ بعضِها من بعض، يكونُ التجاذبُ الحاصلُ بين الإلكترونِ والبروتونِ أقوى من التنافرِ بين البروتونِ – البروتونِ من جهةٍ والإلكترونِ – الإلكترونِ من جهةٍ أخرى، مما يقللُ من الطاقةِ الكامنة (كما في **الشكل 6-5** (ب)).

وتستمرُّ قوى التجاذبِ في الهيمنةِ كما يستمرُّ مجموعُ الطاقةِ الكامنةِ في التناقصِ إلى أن يبلغَ حدًّا يتساوى عنده التنافرُ بين الشحناتِ المتماثلةِ والتجاذبُ بين الشحناتِ المتعاكسة (انظرْ إلى **الشكل 6-5** (ج)). عندها، تصلُ الطاقةُ الكامنةُ إلى أدنى مستوى لها، فيتكوَّنُ جزيءُ هيدروجينٍ مستقرّ.

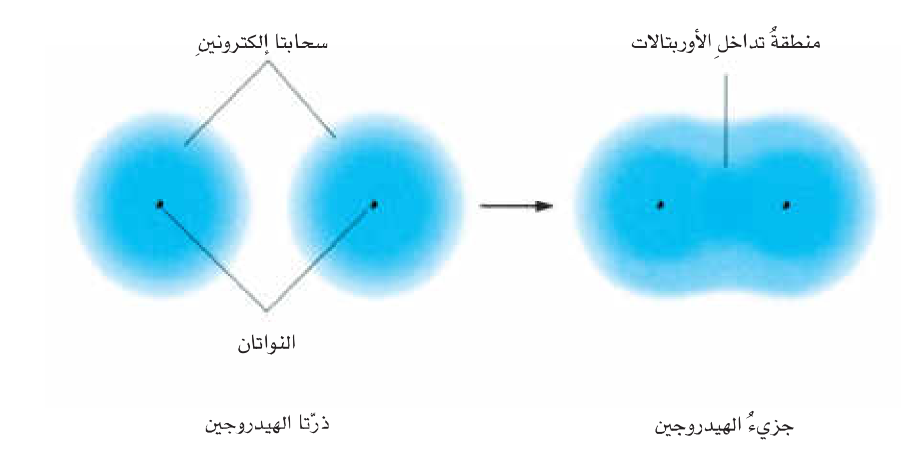
من ناحيةٍ أخرى، ينتجُ من التقاربِ الأكبرِ بين الذرّاتِ زيادةٌ حادّةٌ في الطاقةِ الكامنة، إذ تتغلّبُ قوى التنافرِ على قوى التجاذبِ (انظرِ **الشكل 6-5** (د)).




**الشكل 6-6** تدلُّ الأسهمُ على قوّةِ التجاذبِ والتنافرِ بين إلكترونٍ ونواةِ كلٍّ من ذرّتَيِ الـ H. تقلُّ الطاقةُ الكامنةُ بتجاذبِ الجسيمات، وتتزايدُ بتنافرِها.

# خـواصُّ الآصـرةِ التـسـاهـميـة

الآصرةُ التساهميّةُ هي آصرةٌ مستقرّةٌ تتكَّونُ عند تعادلِ قوى التجاذبِ والتنافرِ بين الـذرّات. يَـتِـمُّ عـنـد هـذا الـتـعـادلِ تشـاركُ نـواتـيِّ ذرّتَـي الـهـيـدروجين ضـمـن جـزيء الهيدروجين. وكما يظهرُ في **الشكل 6-7**، يحتلُّ إلكترونا الجزيء أوربتالينِ متداخلين، ويتحـركانِ بحـرية في كلا الأوربتـالين. والـذرَّتـان المتآصـرتـانِ تهـتزانِ قليـلاً وتبقيـانِ متآصرتينِ ما دامتا قريبتينِ من مستوى الطاقةِ الأدنى.




**الشكل 6-7** يتداخلُ أوربتالا ذرتَي الهيدروجينِ في جزيءِ الهيدروجينِ بحيثُ ينجذبُ كلٌّ من الإلكترونين نحوَ نواتَي الذرّتين، فينتجُ من ذلك زيادةٌ في الكثافةِ الإلكترونيةِ بين النواتين.

تُسمّى المسافةُ الفاصلةُ بين نواتَيْ ذرّتينِ متآصرتين في أدنى طاقتِهما الكامنةِ **طولَ الآصرةِ** bond length. إنَّ طولَ آصرةِ H–H هو 75 pm. عند تكوّنِ الآصرةِ التساهميّةِ تطلِقُ ذرّاتُ الهيدروجينِ طاقةً نتيجةَ تغيُّرِها من ذرّاتٍ منفردةٍ إلى ذرّاتٍ متآصرةٍ في الجزيء. هذه الطاقةُ تعادلُ الفرقَ بين الطاقةِ الكامنةِ بين الذراتِ المنفردةِ عندَ نقطةِ الصفـرِ (عـنـدمـا تكونُ الـذرّاتُ متبـاعـدة) وبين مستوى الطاقةِ الأدنى (عـنـدما تكونُ الذرّاتُ متآصرة)، ويجبُ أن يضافُ إلى طاقةِ التعادلِ مقدارُ هذه الطاقةِ نفسُه لفصلِ الذرّاتِ المتآصرة. تُسمَّى هذه الطاقةُ «**طاقةَ الآصرة**» bond energy. وهي أيضًا الطاقةُ الضروريّةُ لكسرِ الآصرةِ الكيميائيّةِ ولتكوينِ ذرّاتٍ منفصلةٍ متعادلة.

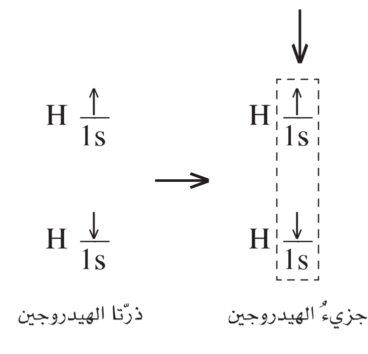
يعبِّرُ العلماء، عادةً عن طاقةِ الآصرةِ بوحدةِ (kJ/mol). وتطبّقُ علاقاتُ الطاقةِ هذه على جميعِ الأواصرِ التساهميّةِ بما فيها حالةُ تكوّنِ آصرةِ H–H، إلا أنَّ طولَ وطاقةَ الآصرةِ يتغيّرانِ معَ تغيُّرِ أنواعِ الذرّاتِ المُتآصرة. حتى إنَّ طاقةَ التآصرِ في ذرتينِ متماثلتينِ تتغيَّرُ بحسبِ الأواصرِ الأخرى التي كوَّنتْها هاتانِ الذرّتان. يجبُ مراعاةُ هذه الحقائقِ عند تفحُّصِ **الجدول 6-1** حيثُ تُدرَجُ في الأعمدةِ الثلاثةِ الأولى أنواعُ الأواصرِ وطولُها وطاقتُها في جزيئاتٍ معيّنةٍ ثنائيّةِ الذرة، بينما الأعمدةُ الثلاثةُ الأخيرةُ تعطي معدّلاً لقيمةِ الأواصرِ الخاصّةِ في مركّباتٍ مختلفة.

تحتوي جميعُ ذرّاتِ الهيدروجينِ على إلكترونٍ واحدٍ منفردٍ يقعُ في الأوربتال 1*s*. وعندما تتقاربُ ذرّتا الهيدروجينِ لتشكّلا جزيءَ الهيدروجين، تتشاركانِ في إلكترونيهما

**الجدول 1-6** طولُ بعضِ الأواصرِ التساهميةِ وطاقاتُها

| الآصرة | طولُ الآصرة (pm) | طاقةُ الآصرة (kJ/mol) | الآصرة | طولُ الآصرة (pm) | طاقةُ الآصرة (kJ/mol) |
|---|---|---|---|---|---|
| H-H | 74 | 436 | C-C | 154 | 346 |
| F-F | 141 | 159 | C-N | 147 | 305 |
| Cl-Cl | 199 | 243 | C-O | 143 | 358 |
| Br-Br | 228 | 193 | C-H | 109 | 418 |
| I-I | 267 | 151 | C-Cl | 177 | 327 |
| H-F | 92 | 569 | C-Br | 194 | 285 |
| H-Cl | 127 | 432 | N-N | 145 | 180 |
| H-Br | 141 | 366 | N-H | 101 | 386 |
| H-I | 161 | 299 | O-H | 96 | 459 |

ضمنَ آصرةٍ تساهميّة. وبالتالي يصبحُ الترتيبُ الإلكترونيُّ لكلِّ ذرةٍ منهما مشابهًا للترتيبِ الإلكترونيِّ المستقرِّ للهيليوم $1s^2$، كما يظهرُ في **الشكل 6-8**. ولا يقتصرُ هذا الميلُ على الهيدروجين للوصولِ إلى ترتيبِ الغازاتِ النبيلةِ خلالَ الارتباطِ التساهميّ، وإنما يتخطّاهُ إلى ذرّاتٍ كثيرةٍ أخرى.




**الشكل 6-8** يتحقّقُ لكلٍّ من ذرتيَ الهيدروجين في جزيءِ الهيدروجين ترتيبٌ إلكترونيٌّ $1s^2$ عندما تتشاركُ هاتان الذرّتان في إلكترونين يدورانِ في الأوربتالينِ المتداخلين.

## قاعدةُ الثمانية

تتواجدُ ذرّاتُ الغازاتِ النبيلةِ منفصلةً في الطبيعة، على عكسِ بقيّةِ الذرّات. وتتميّزُ هذه الغازاتُ بطاقةٍ كامنةٍ في حدِّها الأدنى بسببِ الاستقرارِ الخاصِّ في ترتيبِها الإلكترونيّ. وباستثناءِ الهيليومِ الذي يحتوي مستواه الخارجيُّ على إلكترونين، فإنَّ الاستقرارَ الذي تتمتّعُ به ذرّاتُ الغازاتِ النبيلةِ هو نتيجةُ امتلاءِ أوربتالات $s$ و $p$ بثمانيةِ إلكترونات. وتستطيعُ ذرّاتُ العناصرِ الرئيسةِ الأخرى ملءَ أوربتالاتِ $s$ و $p$ بالإلكتروناتِ من خلالِ تشاركِها في الإلكتروناتِ في تآصرٍ تساهميٍّ وفقًا لـ **قاعدةِ الثمانية** octet rule.

تنصُّ قاعدةُ الثمانية على التالي: تميلُ المركّباتُ الكيميائيّةُ إلى التشكّلِ بحيثُ يتحقّقُ لكلِّ ذرّةٍ فيها ثمانيةُ إلكتروناتٍ في أعلى مستوى طاقةٍ لها، سواءٌ بفقدِ الإلكتروناتِ أو اكتسابِها أو التشاركِ فيها.

تتوضّحُ قاعدةُ الثمانيةِ عند دراسةِ الآصرةِ في جزيءِ الفلورِ $F_2$. فلكلِّ ذرّةِ فلورٍ منفردةٍ سبعةُ إلكتروناتٍ في أعلى مستوى طاقةٍ لها ($[He]2s^22p^5$). وكما في الهيدروجين، تتّحدُ ذرّاتُ الفلورِ F بأواصرَ تساهميّةٍ لتشكّلَ جزيئاتٍ ثنائيةَ الذرّاتِ $F_2$، حيثُ تتشاركُ كلُّ ذرّةٍ بواحدٍ من إلكتروناتِها التكافؤيةِ مع الذرّةِ الأخرى، كما يتبيّنُ في **الشكل 6-9** (أ). ويُظهرُ **الشكلُ 6-9** (ب) مثلاً آخر على قاعدةِ الثمانية، حيثُ يصبحُ لذرّةِ الكلورِ Cl في جزيءِ كلوريدِ الهيدروجينِ HCl ثمانيةُ إلكتروناتٍ بالتشاركِ في زوجٍ واحدٍ من الإلكتروناتِ مع ذرّةِ H.

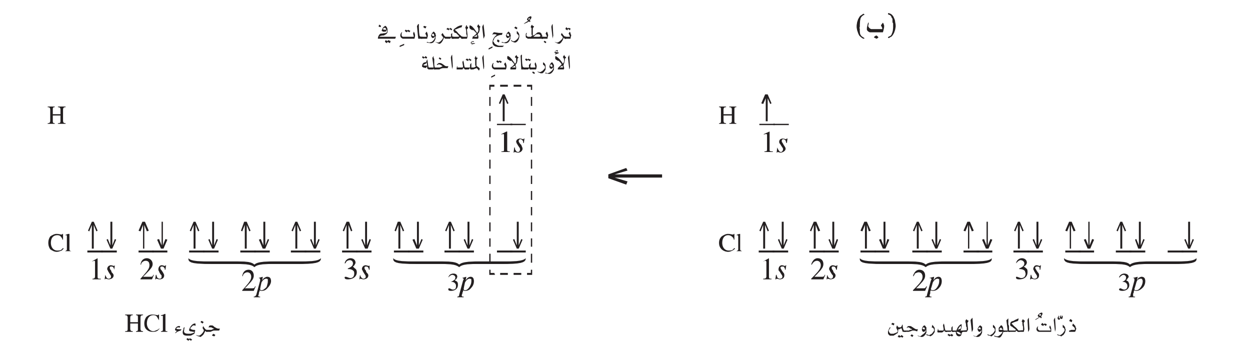
**الشكل 6-9** (أ) يتحقّقُ لكلِّ ذرّةٍ من الفلورِ الترتيبُ الإلكترونيُّ المستقرُّ للنيون $[He]2s^22p^6$ عندما تتشاركُ الذرّاتُ في إلكتروناتِ التكافؤِ في الأوربتالاتِ المتداخلة. (ب) يمتلئُ الأوربتالُ $1s$ لذرّةِ الهيدروجينِ بإلكترونين، كما يتحقّقُ الاستقرارُ للكلورِ إذ يصبحُ له ثمانيةُ الإلكتروناتِ في الأوربتالاتِ $3p$ و $3s$ أيضًا.

(أ)

F ↑↓ ↑↓ ↑↓ ↑↓ ↑ ($1s$ $2s$ $2p$)
F ↑↓ ↑↓ ↑↓ ↑↓ ↓ ($1s$ $2s$ $2p$)
ذرّاتُ الفلور

←

تآصرُ زوجِ الإلكتروناتِ في الأوربتالاتِ المتداخلة
F ↑↓ ↑↓ ↑↓ ↑↓ ↑ ($1s$ $2s$ $2p$)
F ↑↓ ↑↓ ↑↓ ↑↓ ↓ ($1s$ $2s$ $2p$)
جزيء الفلور




## استثناءاتُ قاعدةِ الثمانية

تميلُ معظمُ العناصرِ الرئيسةِ إلى تشكيلِ أواصرَ تساهميّةٍ طبقًا لقاعدةِ الثمانية، مع وجودِ استثناءات، حيث ترتبطُ ذرَّتا الهيدروجينِ بإلكترونينِ اثنينِ فقط، وتملكُ ذرّةُ البورونِ B ثلاثةَ إلكتروناتِ تكافؤٍ $[He]2s^22p^1$، مما يؤمّنُ لها 6 إلكتروناتٍ فقط. في مركّبِ $BF_3$ تحاطُ ذرّةُ البورونِ بإلكتروناتِها التكافؤيةِ مع إلكترونٍ واحدٍ من كلِّ ذرّةِ فلورٍ ترتبطُ بها. كذلك يمكنُ لبعضِ العناصرِ أنْ تكوِّنَ أواصرَ تساهميةً تتعدّى فيها قاعدةَ الثمانية، إذا اتّحدتْ معَ العناصرِ ذاتِ السالبيةِ العالية: F،O،Cl. وفي مثلِ هذه الحالات، تحتوي الأواصرُ على إلكتروناتٍ ضمنَ الأوربتالاتِ $d$ بالإضافةِ إلى الأوربتالاتِ $s$ و $p$.

# الترميزُ النقطيُّ للإلكترون

يختصُّ تكوينُ الآصرةِ التساهميّةِ عادةً بإلكتروناتِ المستوى الخارجيِّ للذرّةِ فقط، أو بما يُسمّى إلكتروناتِ التكافؤ. لمتابعةِ هذه الإلكترونات تُستخدمُ طريقةُ **الترميزِ النقطيِّ للإلكترونِ** electron-dot notation. هذه الطريقةُ تتمثّلُ بكتابةِ الرمزِ لأيِّ عنصرٍ محاطٍ بإلكتروناتِ التكافؤِ (مشارًا إليها بالنُّقط)، بينما لا تظهرُ إلكتروناتُ المستوياتِ الداخلية. وعلى سبيلِ المثال، يكونُ الترميزُ النقطيُّ لذرّةِ الفلورِ ذاتِ الترتيبِ الإلكترونيِّ $[He]2s^22p^5$ على هذه الصورة:

:F̤̈·

يُكتبُ الترميزُ النقطيُّ للإلكترونِ للعناصرِ التي لديها 1-8 إلكتروناتِ تكافؤ كما هو مبيّنٌ في **الشكلِ 6-10**.

| عددُ إلكتروناتِ التكافؤ | الترميزُ النقطيّ للإلكترون | مثال |
|---|---|---|
| 1 | X· | Na· |
| 2 | ·X· | ·Mg· |
| 3 | ·Ẋ· | ·Ḃ· |
| 4 | ·Ẋ̣· | ·Ċ̣· |
| 5 | ·Ẋ̣: | ·Ṇ̇: |
| 6 | :Ẋ̣: | :Ọ̇: |
| 7 | :Ẍ̣: | :F̈̇: |
| 8 | :Ẍ̤: | :N̈ë: |

**الشكل 6-10** عند كتابةِ الترميزِ النقطيِّ لإلكترونِ عنصرٍ معيَّن، يحدّدُ عددُ إلكتروناتِ التكافؤ، ثمَّ يُكتبُ الرمزُ محاطًا بعددِ نقاطٍ مماثل، كما هو مبيّن.

**مسألة نموذجية 6-2**

أ. **اكتبِ الترميزَ النقطيَّ للإلكترونِ لذرّةِ الهيدروجين.**

ب. **اكتبِ الترميزَ النقطيَّ للإلكترونِ لذرّةِ النيتروجين.**

**الحلّ**

أ. في ذرّةِ الهيدروجينِ يشغلُ إلكترونٌ واحدٌ مستوى الطاقةِ الرئيسَ الأول $n = 1$، لذلك يكتبُ الترميزُ النقطيُّ للإلكترونِ على الشكلِ التالي:

H·

ب. يكتبُ الترميزُ النقطيُّ للإلكترون لجميعِ عناصرِ مجموعةِ النيتروجين هكذا: $ns^2np^3$. وهذا يدلُّ على وجودِ 5 إلكتروناتِ تكافؤ. ويكونُ الترميزُ النقطيُّ للإلكترونِ للنيتروجينِ على الشكلِ التالي:

·Ṇ̇:

# تراكيب لويس

يمكنُ استعمالُ الترميزِ النقطيِّ في تمثيلِ الجزيئاتِ أيضًا. مثلاً على ذلك، يشارُ إلى جزيءِ الهيدروجينِ بضمِّ الترميزِ النقطيِّ لكلٍّ من ذرّتَي الهيدروجين:

H:H

تمثِّلُ النقطتانِ زوجًا واحدًا من الإلكتروناتِ المشتركةِ في الآصرةِ التساهميّةِ H–H. كذلك يشارُ إلى جزيءِ الفلورِ $F_2$ بضمِّ الترميزِ النقطيِّ لكلِّ ذرّةٍ من الفلورِ على الشكلِ التالي:

:F̤̈:F̤̈:

تدلُّ النقطتانِ بين رمزَي الذرّتينِ كذلك على زوجِ الإلكتروناتِ المشتَرَكِ في الآصرةِ التساهميّةِ F–F. بالإضافةِ إلى ذلك، تحيطُ بكلِّ ذرّةِ فلورٍ ثلاثةُ **أزواجٍ غيرِ مشتركة** unshared pair، وهي أزواجٌ من الإلكتروناتِ لا تشتركُ في الأواصرِ وتخصُّ كلَّ ذرّةٍ على حدة.

يُستبدل، عادةً، زوجُ النُّقَطِ في الآصرةِ التساهميّةِ بمعترضة dash. وطبقًا لهذا العُرْف، يشارُ إلى جزيءِ الهيدروجينِ وإلى جزيءِ الفلورِ بالشكل التالي:

$$H{-}H \qquad :\ddot{F}{-}\ddot{F}:$$

تدلُّ جميعُ الأمثلةِ الواردةِ أعلاهُ على ما يُسمّى **بنية لويس** Lewis structure، وهي الصيغُ التي تدلُّ الرموزُ الذرّيّةُ فيها على النّوى وعلى إلكتروناتِ المستوياتِ الداخلية. وتدلُّ أيضًا أزواجُ النقط، كما المعترضاتُ بين الرموز، على أزواجِ الإلكتروناتِ المشتركةِ في الأواصرِ التساهميّة. كذلك، تبيِّنُ النقطُ المحيطةُ برمزٍ ذرّيٍّ واحدٍ الأزواجَ المتوحدةَ أو غيرَ المشتركة.

من الشائعِ أنْ تُرْسَمُ تراكيب لويس بحيثُ تظهرُ فقطْ الإلكتروناتِ المشْتَرَكة، وتستخدمُ المعترضاتُ للدلالةِ على الأواصر. وتدلُّ **الصيغةُ البنائيةُ** structural formula على الذرّاتِ في جزيءٍ معيَّن: نوعُها وعددُها وترتيبُها والأواصر، دونَ أنْ تشيرَ إلى الأزواجِ غيرِ المشتركةِ لهذه الذرّات. ومن أمثلةِ ذلك H–Cl و F–F.

تُرسَمُ تراكيب لويس (وأيضًا الصيغُ البنائيّة) لعدةِ جزيئاتٍ عندما يتمُّ التعرفُ إلى تركيبِ الجزيءِ وذرّاتِه المتآصرة. وتوضِّحُ المسألةُ النموذجيةُ الآتيةُ المراحلَ الأساسيةِ لكتابةِ تراكيب لويس. من الملاحظِ أنَّ الجزيءَ المذكورَ في المسألةِ يحتوي على أواصر مفردةٍ من أزواجٍ إلكترونيةٍ مشتركة. الآصرةُ التساهميّةُ الأحاديّةُ، أو **الآصرةُ الأحاديّةُ** single bond، هي آصرةٌ تتكوّنُ من تشاركِ ذرَّتينِ في زوجٍ واحدٍ من الإلكترونات.

## مسألة نموذجية 6-3

**ارسمْ تركيبَ لويس ليوديدِ الميثان $CH_3I$.**

**الحلّ**

1. حدِّدْ نوعَ وعددَ الذرّاتِ في الجزيء. تدلُّ الصيغةُ على وجودِ ذرّةِ كربونٍ واحدةٍ وذرّةِ يودٍ واحدةٍ و3 ذرّاتِ هيدروجين.
2. اكتبِ الترميزَ النقطيَّ للإلكترونِ لكلِّ ذرّةٍ في الجزيء. ينتمي الكربونُ إلى المجموعةِ 14، وتحيطُ به 4 إلكتروناتِ تكافؤ. ينتمي اليودُ إلى المجموعةِ 17، وتحيطُ به 7 إلكتروناتِ تكافؤ. ويحيطُ بالهيدروجينِ إلكترونُ تكافؤٍ واحدٍ فقط.

$$\cdot\dot{\underset{\cdot}{C}}\cdot \qquad :\ddot{\underset{\cdot\cdot}{I}}\cdot \qquad H\cdot$$

3. احسبْ مجموعَ عددِ إلكتروناتِ التكافؤِ للذرّاتِ المتآصرة:

| | | |
|---|---|---|
| **C** | **$1 \times 4e^- =$** | **$4e^-$** |
| **I** | **$1 \times 7e^- =$** | **$7e^-$** |
| **H** | **$3 \times 1e^- =$** | **$3e^-$** |
| | | **$14e^-$** |

4. رتِّبِ الذرّاتِ لترسمَ تركيبَ الجزيء. الذرّةُ المركزيّةُ هي دائمًا ذرّةُ الكربون، في حالِ وجودِها، أو الذرّةُ الأقلُّ سالبيةً حين لا يوجدُ الكربون(يُستثنى الهيدروجين، لأن ذرّةَ الهيدروجينِ لا تكونُ أبدًا مركزيّةً). اربطِ الذرّاتِ بأزواجِ الإلكترونات.

$$\begin{array}{c} H \\ \cdot\cdot \\ H:C:I \\ \cdot\cdot \\ H \end{array}$$

5. أضفِ الأزواجَ غيرَ المشتركة بحيثُ تحاطُ كلُّ ذرّةٍ من اللافلزّاتِ بـ 8 إلكترونات، وتحاطُ كلُّ ذرّةٍ من الهيدروجينِ بإلكترونين.

$$\mathrm{H{-}\overset{H}{\underset{H}{C}}{-}\ddot{\underset{..}{I}}:} \quad \text{و} \quad \mathrm{H{:}\overset{H}{\underset{H}{\ddot{C}}}{:}\ddot{\underset{..}{I}}:}$$

6. احسبْ عددَ الإلكتروناتِ الإجماليَّ للتركيب كيْ تتأكّدَ من أنَّ عددَ إلكتروناتِ التكافؤِ يعادلُ العددَ المتوافر. يتحدّدُ العددُ الإجماليُّ لإلكتروناتِ التكافؤ، وهي 14 في المثلِ السابق، على الشكلِ التالي: 8 إلكتروناتٍ في الأواصرِ التساهميّةِ الأربع، و 6 إلكتروناتٍ من الأزواجِ الثلاثةِ غيرِ المشتركة.

**تمارينُ تطبيقية**

**الأجوبة:**

1. ارسمْ تركيبَ لويس للأمونيا، $NH_3$.

$$\mathrm{H{-}\ddot{\underset{|}{N}}{-}H} \ (\text{H}) \quad \text{أو} \quad \mathrm{H{:}\ddot{\underset{..}{N}}{:}H} \ (\text{H})$$

2. ارسمْ تركيبَ لويس لكبريتيدِ الهيدروجين، $H_2S$.

$$\mathrm{H{-}\ddot{\underset{..}{S}}{-}H} \quad \text{أو} \quad \mathrm{H{:}\ddot{\underset{..}{S}}{:}H}$$

## الأواصرُ التساهميّةُ المتعددة

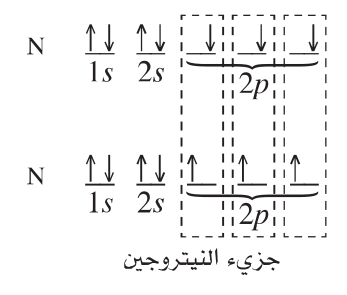
بإمكانِ ذرّاتِ بعضِ العناصر، خصوصًا الكربونَ والنيتروجينَ والأكسجين، أنْ تتشاركَ في أكثر من زوجٍ من الإلكترونات. وتُسمّى الآصرةُ التساهميّةُ بين ذرّتينِ تتشاركانِ في زوجين من الإلكتروناتِ الآصرةَ التساهميّةَ الثنائيّة، أو **الآصرةَ الثنائيّةَ** double bond. يشارُ إلى الآصرةِ الثنائيّةِ إما بـ 4 نقطٍ جنبًا إلى جنبٍ كما في الصيغةِ (أ) أو بخطّينِ متوازيين. في جزيءِ الإيثانِ $C_2H_4$، كما في الصيغةِ (ب)، تتشاركُ ذرّتا الكربونِ في زوجينِ من الإلكتروناتِ بشكلٍ آنيّ

$$\underset{\text{(أ)}}{\mathrm{H_2C{::}CH_2}} \quad \text{أو} \quad \underset{\text{(ب)}}{\mathrm{H_2C{=}CH_2}}$$

تتكوّنُ الأصرةُ التساهميّةُ الثلاثية، أو ببساطةٍ **الآصرةُ الثلاثيّةُ** triple bond، بين ذرّتين عندما تتقاسمُ الذرّتانِ 3 أزواجٍ من الإلكترونات، ومثالُهُ جزيءُ النيتروجين $N_2$ (الذي يتواجدُ دائمًا، كما الهيدروجين والهالوجينات، بشكلِ جزيئاتٍ ثنائيّةِ الذرّات). في هذه الحالة، تكسبُ كلُّ ذرّةِ نيتروجين، وهي ذاتُ 5 إلكتروناتِ تكافؤ، 3 إلكتروناتٍ كي تحقّقَ قاعدةَ الثمانية وتتشاركَ مع الذرّةِ الأخرى في ثلاثةِ أزواجٍ من الإلكترونات. ويتوضّحُ هذا في تركيبِ لويس وفي الصيغةِ البنائية للنيتروجينِ على النحوِ التالي:

$$:\mathrm{N{\equiv}N}: \quad \text{و} \quad :\mathrm{N{:::}N}:$$

يمثِّلُ **الشكلُ 6-11** آصرةً تساهميّةً ثلاثيّةً للنيتروجينِ من خلالِ ترميزِ الفلك. إنَّ الآصرةَ التساهميّةَ الثلاثيّةَ في جزيءِ النيتروجينِ هي آصرةٌ لاقطبية، تمامًا كالآصرةِ التساهميّةِ المفردةِ للهيدروجينِ والهالوجينات.




**الشكل 6-11** تحاطُ كلُّ ذرّةِ نيتروجينٍ في الجزيءِ $N_2$ بستةِ إلكتروناتٍ مشتركةٍ وزوجٍ واحدٍ غيرِ مشترك. لهذا تتبعُ كلُّ ذرّةٍ في هذه الآصرةِ التساهميةِ الثلاثيةِ مبدأَ قاعدةِ الثمانية.

**الجدول 2-6 أطوالُ الأواصرِ وطاقاتُ التآصرِ في الأواصرِ التساهميّةِ الأحاديةِ والمتعدّدة**

| الآصرة | طولُ الآصرة (pm) | طاقةُ الآصرة (kJ/mol) | الآصرة | طولُ الآصرة (pm) | طاقةُ الآصرة (kJ/mol) |
|---|---|---|---|---|---|
| C−C | 154 | 346 | C−O | 143 | 358 |
| C=C | 134 | 612 | C=O | 120 | 799 |
| C≡C | 120 | 835 | C≡O | 113 | 1072 |
| C−N | 147 | 305 | N−N | 145 | 180 |
| C=N | 132 | 615 | N=N | 125 | 418 |
| C≡N | 116 | 887 | N≡N | 110 | 942 |

ومن ناحيةٍ أخرى، تشكّلُ ذرّةُ الكربونِ كذلك، في عددٍ كبيرٍ من المركّبات، آصرةً تساهميّةً ثلاثيّة. ففي جزيءِ الإيثاينِ $C_2H_2$، مثلاً، توجدُ آصرةٌ ثلاثيّةٌ بين ذرّتَي الكربون:

$$H{:}C{:::}C{:}H \qquad H-C\equiv C-H$$

يُطلَقُ على الآصرتينِ الثنائيّةِ والثلاثيّةِ اسمُ **الأواصرِ المتعدّدة** multiple bonds أو الأواصرِ التساهميّةِ المتعدّدة.

للأواصرِ الثنائيّةِ عادةً طاقةُ تآصرٍ أعلى، وهي أقصرُ من الأواصرِ الأحاديّة. فللأواصرِ الثنائيّةِ عادةً طاقةُ تآصرٍ أكبر. وللأواصرِ الثلاثيّةِ طاقةُ تآصرٍ أكبرُ من طاقةِ التآصرِ لدى الأواصرِ الثنائيّة، وهي أيضًا أقصر. يظهرُ في **الجدول 2-6** مقارنةٌ بين معدّلِ طولِ الآصرةِ وطاقةِ التآصرِ في عددٍ من الأواصرِ الأحاديّةِ والثنائيّةِ والثلاثيّة.

يلاحَظ، عندَ رسمِ تراكيبِ لويس، في الجزيئاتِ المحتويةِ على الكربونِ أو النيتروجينِ أو الأكسجين، أنَّ الأواصرَ المتعدّدةَ بين أزواجٍ من هذه الذرّات يمكنُ أنْ تتشكّلَ بين أزواجِ هذه الذرّات. (أما ذرّةُ الهيدروجينِ فلا تشكّلُ سوى آصرةٍ تساهميّةٍ أحاديّة، نظرًا لاحتواءِ أوربتالِها على إلكترونٍ واحدٍ فقط). إنَّ الحاجةَ إلى الآصرةِ المتعدّدةِ تصبحُ بدهيّةً عند قصورِ عددِ إلكتروناتِ التكافؤِ عن إكمالِ قاعدةِ الثمانيّة، حيث يتمُّ إكمالُها بإضافةِ إلكتروناتٍ غيرِ مشتركة. وتوضّحُ **المسألةُ النموذجيّةُ 4-6** كيفيةَ التعاملِ مع هذه الحالة.

**مسألة نموذجية 4-6**

**ارسمْ تركيبَ لويس للميثانالِ $CH_2O$، الذي يُعرفُ أيضًا بالفورمالدهيد.**

**الحلّ**

1. حدّدْ عددَ ذراتِ كلِّ عنصرٍ في الجزيء. تدلُّ الصيغةُ على وجودِ ذرّةِ كربونٍ واحدةٍ وذرّةِ أكسجينٍ واحدةٍ وذرّتَيْ هيدروجين.
2. اكتبِ الترميزَ النقطيَّ للإلكترون لكلِّ ذرّةٍ في الجزيء. الكربونُ الذي ينتمي إلى المجموعةِ 14عنده 4 إلكتروناتِ تكافؤ. والأكسجينُ الذي ينتمي إلى المجموعةِ 16 عنده 6 إلكتروناتِ تكافؤ. أمّا الهيدروجين، فلهُ إلكترونٌ تكافؤٍ واحد.

$$\cdot\dot{\underset{\cdot}{C}}\cdot \qquad :\ddot{\underset{\cdot\cdot}{O}}\cdot \qquad H\cdot$$

3. احسُبْ مجموعَ عددِ إلكتروناتِ التكافؤِ للذرّاتِ المتآصرة:

$$\begin{array}{lll} C & 1 \times 4e^- = & 4e^- \\ O & 1 \times 6e^- = & 6e^- \\ 2H & 2 \times 1e^- = & \underline{2e^-} \\ & & 12e^- \end{array}$$

4. رتِّبِ الذرّاتِ لتتمكّنَ من رسمِ تركيبِ الجزيء، ثمَّ اربطِ الذرّاتِ بأزواجِ الإلكترونات:

H
H:C:O

5. أضفِ الأزواجَ غيرَ المشتركةِ بحيثُ تحاطُ كلُّ ذرّةٍ من اللافلزّاتِ بـ 8 إلكترونات، وتحاطُ كلُّ ذرّةٍ من الهيدروجينِ بإلكترونينِ اثنين:

H
H:C:Ö:

6. أ. احسبْ عددَ الإلكتروناتِ الإجماليَّ في تركيبِ لويس كيْ تتأكّدَ من أنَّ عددَ إلكتروناتِ التكافؤِ يعادلُ العددَ المتوفر. للتركيبِ السابقِ 14 إلكترونًا، ستةٌ منها موزّعةٌ في أواصرَ تساهميّةٍ وثمانيةٌ في 4 أزواجٍ غيرِ مشتركة، وللتركيبِ إلكترونا تكافؤٍ أكثرَ مما ينبغي.

ب. نقِّصْ في ما يلي واحدًا أو أكثرَ من الأزواجِ غيرِ المشتركةِ إذا زادَ عددُ الإلكتروناتِ المستعملةِ عن العددِ المطلوب، إلى أنْ يطابقَ المجموعُ العددَ المتوفر. ثم حرِّكْ واحدًا أو أكثرَ من الأزواجِ غيرِ المشتركةِ إلى الأواصرِ الموجودةِ بين الذرّات، ما عدا الهيدروجين، إلى أنْ تصبحَ الغلافاتُ الخارجيةُ لجميعِ الذرّاتِ ممتلئةً تمامًا. أنقصِ الزوجَ غيرَ المشتركِ للكربونِ وللأكسجينِ بحيثُ تتكوّنُ آصرةٌ ثنائيةٌ بين الكربونِ والأكسجين:

H | H
H−C=Ö | H:C::Ö:

المجموعُ 12 إلكترونًا: ثمانيةُ إلكتروناتٍ لأربعِ أواصرَ تساهمية، وأربعةُ إلكتروناتٍ في أزواجٍ غيرِ مشتركة.

**تمارينُ تطبيقية**

1. ارسمْ تركيبَ لويس لثاني أكسيدِ الكربونِ $CO_2$.
2. ارسمْ تركيبَ لويس لسيانيدِ الهيدروجين، الذي يحتوي على ذرّةِ هيدروجينٍ وذرّةِ كربونٍ وذرّةِ نيتروجين.

**الأجوبة:**

1. Ö=C=Ö
2. H−C≡N:

## مراجعةُ القسم 2-6

1. عرِّفِ التالي:
 أ. طولَ الآصرة
 ب. طاقةَ الآصرة
2. اذكرْ قاعدةَ الثمانية.
3. ما عددُ أزواجِ الإلكتروناتِ المتآصرةِ تساهميًّا في:
 أ. آصرةٍ أحادية
 ب. آصرةٍ ثنائية
 ج. آصرةٍ ثلاثية
4. ارسمْ تركيبَ لويس لما يلي:
 أ. IBr
 ب. $CH_3Br$
 ج. $C_2HCl$
 د. $SiCl_4$
 هـ. $F_2O$

## القسم 3-6

### النواتجُ التعليمية

- يقارنُ ويقابلُ بين الصيغةِ الكيميائيةِ لمركّبٍ جزيئيٍّ والصيغةِ الكيميائيةِ لمركّبٍ أيونيّ.
- يوضحُ ترتيبَ الأيوناتِ في البلّورات.
- يعرّفُ الطاقةَ الشبكيّةَ ويشرحُ أهميّتَها.
- يعدّدُ الخواصَّ المميّزةَ للمركّباتِ الأيونيّةِ والجزيئيّةِ ويقارنُ بينها.

# الآصرةُ الأيونيّةُ والمركّباتُ الأيونيّة

تتألّفُ معظمُ الصخورِ والمعادنِ المكوّنةِ للقشرةِ الأرضيةِ من أيوناتٍ سالبةٍ وأيوناتٍ موجبةٍ متّحدةٍ في ما بينها بأواصر أيونيّة. والمثلُ الشائعُ لهذه المركّباتِ المتآصرةِ أيونيًّا هو ملحُ الطعامِ أو كلوريدُ الصوديومِ الموجودُ في الطبيعةِ بشكلِ ملحٍ صخري. في هذا المركّب، يتّحدُ كلٌّ من أيونِ الصوديومِ ($Na^+$) ذي الشحنةِ الموجبةِ 1+ وأيونِ الكلوريدِ ($Cl^-$) ذي الشحنةِ السالبةِ 1− بنسبةٍ واحدٍ إلى واحد: $Na^+Cl^-$، بحيثُ تتعادلُ كلٌّ من الشحناتِ السالبةِ والموجبة. تُكتبُ على هذا الأساسِ الصيغةُ الكيميائيّةُ لكلوريدِ الصوديوم $NaCl$.

يتكوّنُ **المركّبُ الأيونيُّ** ionic compound من أيوناتٍ سالبةٍ وأيوناتٍ موجبةٍ متّحدةٍ بطريقةٍ تجعلُ شحناتِها متعادلة. تتواجدُ معظمُ المركّباتِ الأيونيّةِ على شكلِ بلّوراتٍ صلبة (انظرِ **الشكلَ 6-12**).

وهذه المركّباتُ الأيونيّةُ هي عبارةٌ عن شبكةٍ ثلاثيةِ الأبعادِ من الأيوناتِ السالبةِ والأيوناتِ الموجبةِ المتجاذبة، بينما تتألّفُ المركّباتُ الجزيئيّةُ من وحداتٍ متعادلةٍ مستقلّةٍ يمكنُ عزلُها وتفحُّصُها. وتبيّنُ الصيغةُ الكيميائيّةُ لمركّبٍ أيونيٍّ أصغرَ نسبةٍ تتّحدُ بها الأيوناتُ بحيثُ تكونُ متعادلةً كهربائيًّا.

وتعبّرُ الصيغةُ الكيميائيّةُ لمركّبٍ أيونيٍّ عن نسبةِ الأيوناتِ الموجودةِ في أيِّ عيّنةٍ من هذا المركّبِ مهما اختلفَ حجمُها. تُسمّى الصيغةُ التي تكونُ فيها المركّباتُ الأيونيّةُ في أبسطِ وأصغرِ نسبةٍ **وحدةَ الصيغة** formula unit. ومثالٌ على ذلك، تحتوي وحدةُ صيغةِ كلوريدِ الصوديومِ على كاتيونِ صوديوم وأنيونِ كلوريد. ويتمُّ تحديدُ نسبةِ الأيوناتِ في الصيغةِ من خلالِ شحناتِ هذه الأيوناتِ المتّحدة. ولتأمينِ التعادلِ الكهربائيِّ في مركّبِ فلوريدِ الكالسيوم، مثلاً، هناك حاجةٌ إلى أيونينِ اثنينِ من الفلوريدِ $F^{-1}$ (ذي الشحنةِ السالبةِ الواحدةِ 1−) لمعادلةِ شحنةِ أيونِ الكالسيوم $Ca^{2+}$ (ذي الشحنتينِ الموجبتينِ 2+)، وتُكتبُ صيغةُ فلوريدِ الكالسيوم على الشكل $CaF_2$.



**الشكل 6-12** ملحُ الطعامِ أو كلوريدُ الصوديوم مركّبٌ بلّوريٌّ صلب، مثلُ معظمِ المركّباتِ الأيونيّة.

## تكوينُ المركّباتِ الأيونية

يمكنُ استخدامُ الترميزِ النقطيِّ للإلكترونِ لتبيانِ التغيُّراتِ الحاصلةِ في التآصرِ الأيونيّ. لا تتكوّنُ المركّباتُ الأيونيّةُ، عادةً، من اتّحادِ أيوناتٍ منفصلة. فلنرَ ما يحصلُ لذرّتَي الصوديومِ والكلورِ حالَ اقترانِهما. كلا الذرّتينِ متعادلةُ الشحنة، للأولى إلكترونُ تكافؤٍ واحد، وللثانيةِ 7 إلكتروناتِ تكافؤ.

| ذرّةُ الصوديوم | ذرّةُ الكلور |
|---|---|
| Na· | :Cl: |

إنَّ ذرّاتِ الصوديوم، كغيرِها من ذرّاتِ الفلزّاتِ القلويّة، سرعانَ ما تشكّلُ كاتيوناتٍ

لدى خسارةِ إلكترونٍ واحد. كذلك ذرّاتُ الكلور، كبقيّةِ الهالوجينات، تشكّلُ أنيوناتٍ لدى اكتسابها إلكترونًا واحدًا. لذا، يشارُ إلى اتّحادِ الصوديوم والكلورِ في صيغةِ كلوريدِ الصوديوم بما يلي:

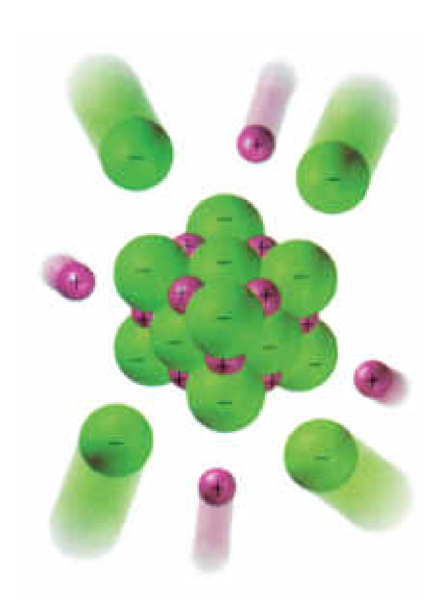
$$Na\cdot \quad + \quad :\ddot{Cl}: \longrightarrow Na^{+} \quad + \quad :\ddot{Cl}:^{-}$$

ذرّةُ صوديوم　ذرّةُ كلور　كاتيونُ صوديوم　أنيونُ كلوريد

إنَّ عمليةَ نقلِ الإلكترونِ من ذرّةِ الصوديوم إلى ذرَّةِ الكلورِ تحوِّلُ كلاًّ من الذرّتينِ إلى أيونٍ له ترتيبٌ إلكترونيٌّ شبيهٌ بترتيبِ الغازاتِ النبيلة. ويحدثُ الأمرُ نفسُه بالنسبةِ إلى مركّبِ فلوريدِ الكالسيوم، حيثُ تقدِّمُ ذرّةُ الكالسيوم إلكترونَيّ تكافؤٍ لكلٍّ من ذرّتَي الفلور.

$$\cdot Ca\cdot + :\ddot{F}: + :\ddot{F}: \longrightarrow Ca^{2+} + :\ddot{F}:^{-} + :\ddot{F}:^{-}$$

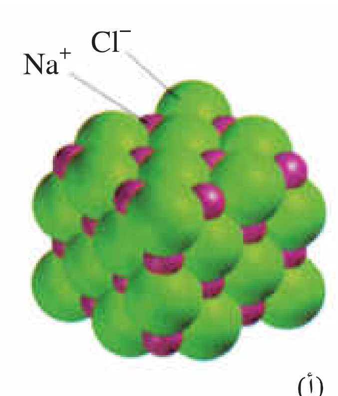
ذرّةُ كالسيوم　ذرّتا فلور　كاتيونُ كالسيوم　أنيونُ فلوريد

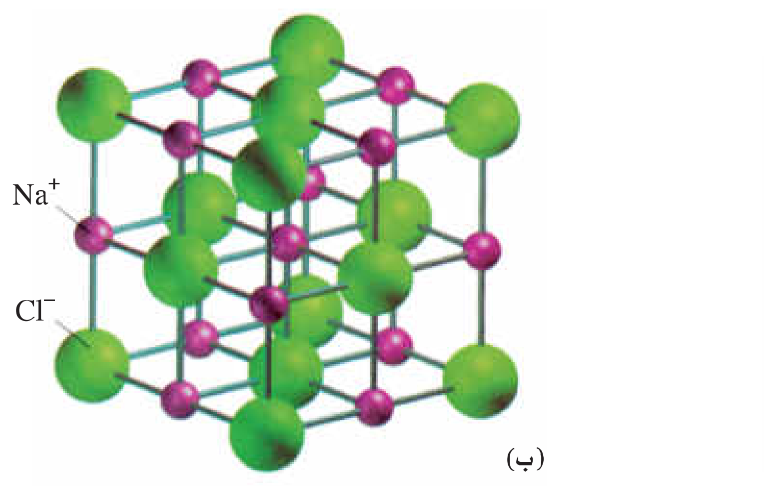


**الشكل 6-13** عندَ تشكيلِ المركّبِ الأيونيِّ، تقلُّ الطاقةُ الكامنةُ للأيوناتِ وتنتظمُ الأيوناتُ السالبةُ والموجبةُ في تنظيمٍ ثلاثيِّ الأبعاد، فتتعادلُ شحناتُها. كذلك تتمدّدُ قوى التجاذبِ الكهربائيّةِ بين الأيوناتِ المتعاكسةِ الشحنةِ مسافاتٍ طويلة. وهذا يقلِّلُ مقدارَ الطاقةِ الكامنةِ بشكلٍ كبير.

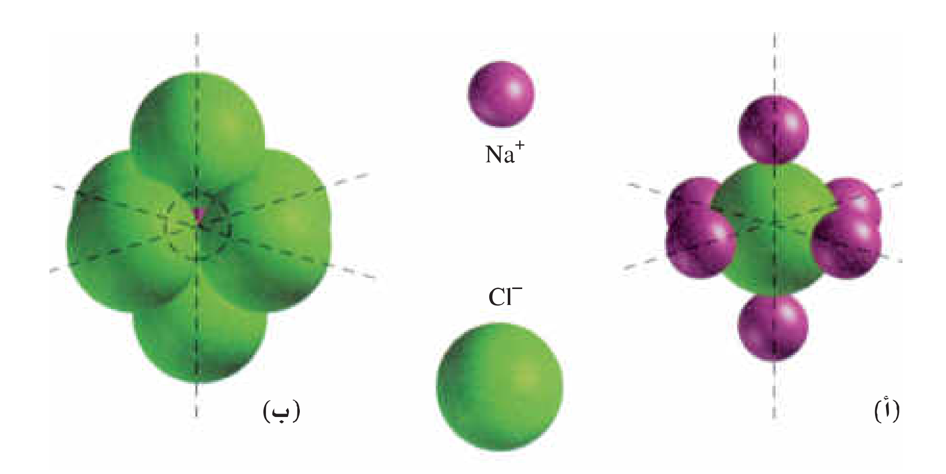
## خواصُّ الآصرةِ الأيونيّة

إنَّ أكثرَ الترتيباتِ الذرّيةِ في الطبيعةِ هي ذاتُ طاقاتٍ كامنةٍ متدنِّية، لذلك تتّحدُ الأيوناتُ في بلّوراتٍ أيونيّةٍ تُعرفُ بالشبكةِ البلّوريّة، وذلك لتقليلِ طاقتِها الكامنةِ إلى المستوى الأدنى (الشكل 6-13)، وتكونُ الطاقةُ الكامنةُ فيها في حدِّها الأدنى. وتتشكّلُ داخلَ البلّورةِ الأيونيّة، القوى المتجاذبةُ بين الأيوناتِ السالبةِ والأيوناتِ الموجبةِ من جهة، وبين النواةِ وإلكتروناتِ الأيوناتِ المجاورةِ لها من جهةٍ أخرى. تضمُّ القوى المتنافرةُ القوى بين الأيوناتِ ذاتِ الشحناتِ المتشابهةِ وإلكتروناتِ الأيوناتِ القريبةِ منها. وتتعادلُ هذه القوى نتيجةَ ترتيبِ الأيوناتِ على مسافاتٍ بينيّةٍ مناسبة. يُظهرُ **الشكل 6-14** البنيةَ البلّوريّةَ لكلوريدِ الصوديوم.




**الشكل 6-14** هذانِ نموذجانِ لبنيةِ كلوريدِ الصوديوم: (أ) لتبيينِ الترتيبِ الفعليِّ للأيوناتِ حيثُ تظهرُ سحابتا الإلكترونِ لأيونَي الصوديومِ والكلوريدِ متماستين. (ب) لتوضيحِ وضعيةِ الأيوناتِ في الشبكةِ البلوريّة، تمَّ تكبيرُ المسافاتِ بينَ الأيونات.




**الشكل 6-15** يُظهرُ الأيوناتِ التي تحيطُ بأنيون الكلوريدِ وكاتيونِ الصوديوم في البناءِ البلوريِّ لكلوريدِ الصوديوم NaCl. ويتألفُ هذا البناء (أ) من ستةِ أيوناتِ صوديوم محيطةٍ بأيونِ كلوريدٍ واحد (ب) من ستةِ أيوناتِ كلوريدٍ تحيطُ بكلِّ أيونِ صوديوم (مشارٍ إليه بالخط المتقطع).

ويُظهرُ **الشكلُ 6-15** التركيبةَ البلّوريّةَ لكلوريدِ الصوديوم NaCl، حيثُ يحاطُ كلُّ كاتيونٍ من الصوديوم بستةِ أنيوناتِ كلوريد. وفي الوقتِ نفسِه، يحاطُ كلُّ أنيونٍ من الكلوريدِ بستةِ كاتيوناتٍ من الصوديوم. إنَّ قوى التجاذبِ بين كلِّ أيونِ كلوريد والأيونِ المجاورِ له ذي الشحنةِ «المضادةِ» هي أقوى من قوى تنافرِ الأيوناتِ الأخرى ذاتِ الشحنةِ المماثلةِ البعيدةِ عنها.

يتغيّرُ هذا الترتيبُ الثلاثيُّ الأبعادِ وقوى التجاذبِ بين الأيوناتِ بحسبِ حجمِها وشحنتِها، وأيضًا بحسبِ عددِ الأيوناتِ المختلفةِ الشحنات. مثالٌ على ذلك فلوريدُ الكالسيوم $CaF_2$، حيث كلُّ كاتيون $Ca^{2+}$ يقابلُه أنيونانِ اثنان، وكذلك تحيطُ بكلِّ كاتيون $Ca^{2+}$ ثمانيةُ أنيوناتِ فلوريد $F^-$. ويحاطُ كلُّ أيون فلوريد بأربعةِ كاتيوناتِ كالسيوم (لاحظِ **الشكلَ 6-16**).

أيون كالسيوم $Ca^{2+}$

أيون فلوريد $F^-$

**الشكل 6-16** يبيِّنُ البناءَ البلوريَّ لفلوريدِ الكالسيوم $CaF_2$، حيث يحاطُ كلُّ كاتيون كالسيوم بثمانيةِ أنيوناتِ فلوريد، وتحيطُ أربعةُ كاتيوناتِ كالسيوم بكلِّ أنيون من الفلوريد في تركيبٍ متراصٍّ تتعادلُ فيه الشحناتُ السالبةُ والموجبة.

**الجدول 6-3 طاقة تكوين الأواصر لبعض المركّبات الأيونية الشائعة**

| المركَّب | طاقةُ تكوين الأواصر (kJ/mol) |
|---|---|
| NaCl | –787.5 |
| NaBr | –751.4 |
| $CaF_2$ | –2634.7 |
| CaO | –3385 |
| LiCl | –861.3 |
| LiF | –1032 |
| MgO | –3760 |
| KCl | –715 |

وللمقارنةِ بين قوى التآصرِ في مركّبٍ أيونيّ، يقارنُ الكيميائيونَ عادةً كمّيةَ الطاقةِ التي تطلقُها الأيوناتُ المنفصلةُ، في غازٍ معيَّن، عندَما تتّحدُ لتكوّنَ بلّورةً صلبة.

# مقارنةٌ بينَ المركّباتِ الأيونيّةِ والمركّباتِ التساهميّة

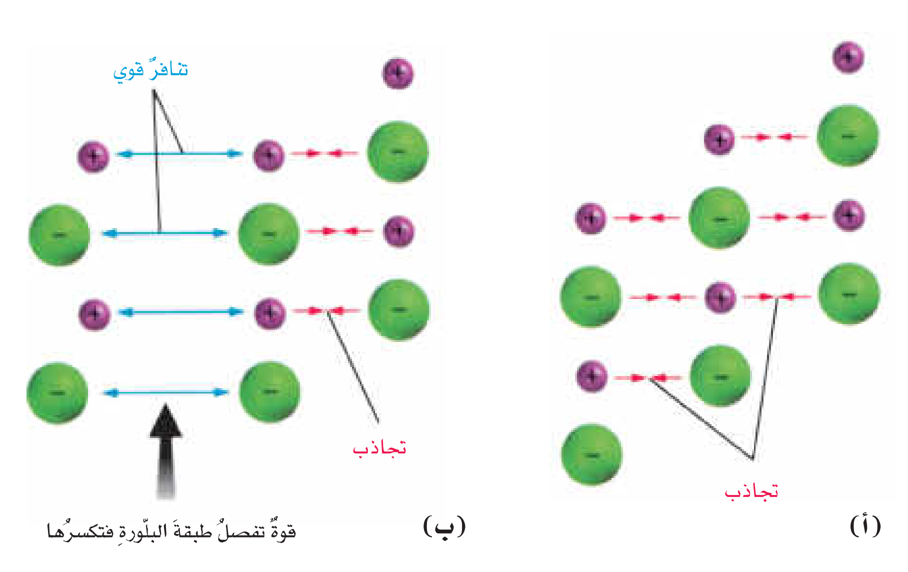
عرفتَ أنَّ القوةَ التي تجعلُ الأيوناتِ متماسكةً في المركباتِ الأيونيّةِ هي قوى تجاذبٍ هائلةٍ بين الشحناتِ السالبةِ والموجبةِ المعروفةِ بالآصرةِ الأيونيّة. والحالُ كذلك بالنسبةِ للمركباتِ التساهميّةِ حيث توجدُ قوى تجاذبٍ بين جزيئاتِها، لكنها أضعفُ بكثيرٍ من قوى التجاذبِ الموجودةِ بين الأيونات.

إنَّ الاختلافَ في خواصِّ المركّباتِ الأيونيّةِ والتساهميّةِ سببُهُ الفرقُ في قوى التجاذبِ بين الوحداتِ الأساسيّةِ لتلك المركّبات. وبناءً على مدى قوةِ هذه التجاذباتِ تتحدّدُ صلابةُ المركّباتِ ودرجاتُ غليانِها ودرجاتُ انصهارِها. وحيث إنَّ قوى التجاذبِ بين الجزيئاتِ المنفردةِ ليستْ كبيرة، نرى أنَّ العديدَ من المركّباتِ التساهميّةِ تتغيرُ وسطَ درجاتِ حرارةٍ منخفضةٍ لا تتأثّرُ بها المركّباتُ الأيونيّة. كذلك، إنَّ عددًا كبيرًا من المركّباتِ التساهميّةِ هو في واقعِ الأمرِ غازيٌّ ضمنَ حرارةِ الغرفةِ العاديّة، وليستْ هذه هي الحالَ بالنسبةِ إلى المركبّاتِ الأيونيّةِ التي تتصفُ بدرجاتِ غليانٍ وانصهارٍ أكبر. فضلاً عن أنَّها لا تتبخّرُ وسطَ حرارةِ الغرفةِ كما يحصلُ للعديدِ من المركّباتِ التساهميّة.

من ناحيةٍ أخرى، إنَّ المركّباتِ الأيونيّةَ صلبةٌ ولكنَّها في الوقتِ نفسِه هشّة، سريعةُ التكسّر، لماذا؟

لمجرّدِ إزاحةِ صفٍّ واحدٍ من الأيوناتِ داخلَ البناءِ البلوريّ، تتولّدُ قوى تنافرٍ كبيرة (لاحظِ **الشكلَ 6-17**). هذه القوى تجعلُ ابتعادَ الطبقاتِ عن بعضِها أمرًا صعبًا، مما يؤدّي إلى صلابةِ المركّب. ومن ناحيةٍ أخرى، وفي حالِ فصلِ طبقةٍ واحدة، تؤدي قوى التنافرِ الناتجةُ من التقاربِ بين الأيوناتِ ذاتِ الشحنةِ المتماثلةِ إلى ابتعادِ بقيّةِ الطبقاتِ بعضِها عن بعض، فتتصدّعُ البلّورةُ وتتكسّر.

تتميّزُ المركّباتُ الأيونيّةُ بصلابتِها وسرعةِ تصدُّعِها، لكنَّها أيضًا موصلةٌ للكهرباءِ عند إذابتِها في الماءِ أو عندما تكونُ مصهورة. ويعودُ السببُ في ذلك إلى حرّيةِ حركةِ الأيوناتِ في المحاليلِ المائيّةِ وفي المصاهير. أما في حالتِها الصلبة، حيث تتقيّدُ حركةُ




**الشكل 6-17** (أ) قوّةُ التجاذبِ بين الأيوناتِ السالبةِ والموجبةِ في بلّورةِ مركبٍ أيونيٍّ معيَّنٍ تجعلُ طبقاتِ الأيوناتِ مقاومةً للحركة (ب) إذا ضُربتِ البلّورةُ بقوّةٍ كافيةٍ تتحرّكُ الطبقاتُ بحيث تتقاربُ الأيوناتُ المتشابهة، فيحدثُ التنافرُ وتتصدّعُ البلورة.

الأيونات، تصبحُ هذه المركباتُ غيرَ موصلةٍ للكهرباء. إنَّ العديدَ من المركّباتِ الأيونيّةِ يذوبُ في الماء، فتحاطُ الأيوناتُ بجزيئاتِ الماءِ التي تسهِّلُ حركتَها، وتسهِّلُ بالتالي توصيلَها للكهرباء. وهناك أيضًا مركّباتٌ أيونيةٌ غيرُ قابلةٍ للذوبانِ بسببِ قوّةِ تجاذبِ الأيوناتِ التي تفوقُ قوّةَ جذبِ جزيئاتِ الماءِ لها.

## الأيوناتُ متعدّدةُ الذرّات

تتآصرُ بعضُ الذرّاتِ تساهميًّا لتكوّنَ مجموعةً من الذرّاتِ لها خواصُّ أيونيّةٌ وتساهميّةٌ في الوقتِ نفسِه. تسمّى مجموعةُ الذرّاتِ المشحونةِ والمتآصرةِ تساهميًّا **الأيونات متعدّدة الذرّات** polyatomic ions. تتّحدُ هذه المجموعاتُ مع الأيوناتِ من الشحناتِ المضادةِ لتؤلّفَ مركّباتٍ أيونية. لهذه المجموعاتِ شحنةٌ سالبةٌ (إذا زادتِ الإلكترونات)، أو موجبةٌ (إذا نقصتِ الإلكترونات). فأيونُ الأمونيوم، مثلاً، وهو الأكثرُ شيوعًا بين الأيوناتِ المتعدّدةِ الذرّاتِ موجبةِ الشحنة، يتكوّنُ من ذرّةِ نيتروجين وأربعِ ذرّاتِ هيدروجين. وتُكتبُ صيغتُه $[NH_4]^+$ للدلالةِ على وجودِ شحنةٍ موجبةٍ واحدةٍ للمجموعةِ بكاملِها. إنَّ العددَ الإجماليَّ للبروتوناتِ ($7 + 4 = 11$، سبعةٌ من النيتروجينِ وأربعةٌ من الهيدروجين) يجعلُ للأمونيا 11 شحنةً موجبة. لذرّةِ النيتروجينِ المنفردةِ سبعةُ إلكترونات، ولأربعِ ذرّاتِ هيدروجين منفردةٍ أربعُ إلكترونات. عندما تتّحدُ هذه الذرّاتُ لتكوينِ أيونِ الأمونيوم، يُفقَدُ أحدُ إلكتروناتِها ليعطيَ الأيونَ المتعدّدَ الذرّاتِ شحنةً إجماليّةً سالبةً تساوي $-10$.

تظهرُ في ما يلي تركيب لويس لأيوناتِ الأمونيوم، مع بعضِ الأيوناتِ السالبةِ المتعدّدةِ الذرّاتِ الشائعة، كالنيتراتِ والكبريتات.

أيون الأمونيوم $[NH_4]^+$ — أيون النترات $[NO_3]^-$ — أيون الكبريتات $[SO_4]^{2-}$

## مراجعةُ القسم 3-6

1. أعطِ مثلين على المركّباتِ الأيونيّة.
2. استخدمِ الترميزَ النقطيَّ لإبرازِ تكوينِ المركّباتِ الأيونيّةِ التالية:
   أ. الليثيوم والكلور، Li، Cl
   ب. الكالسيوم واليود، Ca، I
3. ميِّزْ بين المركّباتِ الأيونيّةِ والمركّباتِ التساهميّةِ من خلالِ الوحداتِ الأساسيةِ التي تكوِّنُها.
4. لديكَ مركّبان، الأولُ A ذو درجةِ انصهارٍ وغليانٍ أعلى من المركّبِ الثاني B. عندَ درجةِ الحرارةِ نفسِها، يتبخرُ المركّبُ B بسرعةٍ أكبرَ وبكميةٍ أكثرَ من المركّب A. فإذا علمتَ أنَّ أحدَ هذين المركّبين أيونيٌّ والآخرَ تساهميّ، فأيُّهما يكونُ الأيونيَّ وأيُّهما يكونُ التساهميّ؟ اشرحْ أسبابَ اختيارِك.

القســـم 4-6

# الآصرةُ الفلزّية

## النواتجُ التعليمية

- يصفُ نموذجَ بحرِ الإلكترون للترابطِ الفلزّيِّ، ويشرحُ لماذا تعدُّ الفلزّاتُ موصلةً جيدةً للكهرباء.
- يفسِّرُ قدرةَ الفلزّاتِ على البريقِ واللمعان.
- يفسِّرُ قابليةَ الفلزّاتِ للطَّرْقِ والسحْبِ على عكسِ المركّباتِ البلّوريّةِ الأيونيّة.

تتميّزُ الفلزّاتُ بخواصَّ فريدةٍ تجعلُها مختلفةً عن المركّباتِ الأيونيّةِ والتساهميّة، وذلك لاختلافِ تآصرِها الكيميائيّ.

تُعتبرُ الفلزّاتُ موصلةً جيدةً للكهرباءِ في حالتِها الصلبة. وهي في هذه الحالة، أفضلُ توصيلاً حتى من المركّباتِ الأيونيّةِ المذابةِ والمصهورة. ويعودُ السببُ إلى القدرةِ العاليةِ على الحركةِ التي تتميّزُ بها إلكتروناتُ التكافؤِ في ذرّاتِ الفلزّات، وذلك على عكسِ المركّباتِ التساهميّةِ حيث تشتركُ إلكتروناتُ التكافؤِ في تكوينِ الأواصرِ التساهميّةِ التي تتكونُ بين الذراتِ المتعادلة، وكذلك هي الحالُ في المركباتِ الأيونيّةِ الصلبةِ حيث تكونُ الإلكتروناتُ التكافؤِ في مواقعَ ثابتةٍ غيرَ حرةٍ بسببِ ارتباطِها بنوى الأيوناتِ الموجودةِ في البناءِ البلوريّ.

## نموذجُ الآصرةِ الفلزّية

يشغلُ مستوياتِ الطاقةِ العليا في معظمِ ذرّاتِ الفلزّاتِ عددٌ قليلٌ من الإلكترونات. في فلزّاتِ المجمّع $-s$، مثلاً، يحتلُّ واحدٌ أو اثنانِ فقطْ من إلكتروناتِ التكافؤِ الأوربتالَ الخارجيّ، في حينِ تبقى أوربتالاتُ $p$ الثلاثةُ الخارجيَّةُ فارغة (وهي التي يمكنُ أنْ تُشْبَعَ بستةِ إلكترونات). وفي فلزّاتِ المجمّع $-d$، بالإضافةِ إلى افتقارِ أوربتالاتِ $p$ الخارجيّةِ إلى الإلكترونات، الأوربتالاتُ $-d$ هي أيضًا فارغة، وهي تقعُ في مستوى الطاقةِ قبلَ الأخير.

إنَّ تداخلَ الأوربتالاتِ الفارغةِ في مستوياتِ الطاقةِ الخارجيّةِ للذرّاتِ يسمحُ للإلكتروناتِ الخارجيّةِ بالتنقلِ بحريّةٍ في الفلزّ. إنَّ الحركةَ الحرّةَ للإلكتروناتِ ضمنَ شبكةِ ذرّاتِ الفلزّاتِ يعني عدمَ انتمائِها إلى أيِّ ذرّةٍ من ذرّاتِ الفلزّ، ما يجعلُها شبيهةً ببحرٍ من الإلكتروناتِ تسبحُ فيه ذرّاتُ الفلزّاتِ المتراصّةُ في الشبكةِ البلّوريّة (**شكل 18-6**)، وينتجُ من التجاذبِ بين ذرّاتِ الفلزّاتِ وبحرِ الإلكتروناتِ المحيطِ بها تآصر كيميائيٌّ يُسمّى **الآصرة الفلزّية** metallic bond.



**الشكل 18-6** يُظهرُ النموذجُ جزءًا من البنيةِ البلّوريةِ للصوديومِ الصلب. تترتّبُ ذرّاتُ الصوديومِ بحيثُ تحاطُ كلُّ منها بـ 8 ذرّاتٍ أخرى، وتتنقلُ الإلكتروناتُ بحرّيةٍ بين الشبكةِ فتشكّلُ بحرَ إلكتروناتٍ يحيطُ بالذرّاتِ المثبّتةِ نسبيًا في مواقعِها.

### خواصُّ الفلزّات

تعودُ صفتا التوصيلِ الكهربائيِّ والحراريِّ اللتانِ تميِّزانِ الفلزّاتِ إلى حريةِ حركةِ الإلكتروناتِ ضمنَ شبكةِ تكوينِها الذّريّ. ولاحتواءِ هذه الشبكةِ على أوربتالاتٍ متباعدةٍ ذاتِ فروقٍ في الطاقةِ قليلة، فإنها تتمكّنُ من امتصاصِ مدًى واسعٍ من تردّداتِ الضوء. وينتجُ من ذلك استثارةُ إلكتروناتِ ذرّاتِ الفلزِّ فتقفزُ إلى مستوياتِ طاقةٍ أعلى ثمَّ تهبطُ إلى مستوياتِ الطاقةِ الأقلِّ باعثةً طاقةً بشكلِ ضوء، مما يُضفي على الفلزّاتِ خاصةَ البريقِ واللمعان. فضلاً عن ذلك، للفلزّاتِ خاصّتانِ أخريانِ تميّزانِها وتعطيانِها استخداماتٍ مفيدة. وهاتانِ الخاصتانِ هما:

- **قابليةُ الطَّرْقِ** malleability، أي قابليةُ المادّةِ للتحوُّلِ إلى ألواحٍ رقيقةٍ بالطرْقِ

(الشكل 19-6).

- **قابليّةُ السحْبِ** ductility، أيّ قابليّةُ المادّةِ للتحوُّلِ إلى خيوطٍ دقيقةٍ عبرَ سحبِها أو شدِّها أو تمريرِها في أداةٍ لها ثقوبٌ صغيرةٌ كما في صناعةِ الأسلاكِ الكهربائيّة.

إنَّ السببَ في ذلكَ يعودُ إلى الترتيبِ الذّريِّ المنتظمِ داخلَ الفلزّ. فبإمكانِ أيِّ طبقةٍ من الذرّاتِ في الفلزِّ التحرّكُ والانزلاقُ فوقَ بقيةِ الطبقاتِ بسهولةٍ ودونَ مقاومةٍ أو كسرٍ للتآصر. في المقابل، تذكّرْ من الفصلِ السابقِ أنَّ تحريكَ طبقاتِ البلّورةِ الأيونيّةِ يتسبّبُ في كسرِ التآصرِ وتصدّعِ البلّورة.



## قوّةُ الآصرةِ الفلزّية

تتفاوتُ قوّةُ الآصرةِ الفلزّيةِ بحسبِ الشحنةِ النوويّةِ لذرّةِ الفلزِّ وعددِ الإلكتروناتِ في بحرِ الإلكترونِ الخاصِّ بالفلزّ. ينعكسُ هذانِ العاملانِ على درجةِ حرارةِ تبخُّرِ الفلزّ. في حالِ تبخُّرِه، تتحولُ ذرّاتُهُ من الحالةِ الصلبةِ (الطبيعيّةِ) إلى ذرّاتٍ منفردةٍ في حالتِهِ الغازيّة. وتُقاسُ قوّةُ التآصرِ الفلزّيِّ بكمّيةِ الحرارةِ اللازمةِ لتبخيرِ الفلزّ. يشيرُ **الجدولُ 4-6** إلى درجةِ حرارةِ تبخُّرِ بعضِ الفلزّات.

**الجدول 4-6** درجةُ حرارةِ تبخُّرِ بعضِ الفلزّات (kJ/mol)

| الدورة | العنصر | | |
|---|---|---|---|
| الثانية | Li<br>147 | Be<br>297 | |
| الثالثة | Na<br>97 | Mg<br>128 | Al<br>294 |
| الرابعة | K<br>77 | Ca<br>155 | Sc<br>333 |
| الخامسة | Rb<br>76 | Sr<br>137 | Y<br>365 |
| السادسة | Cs<br>64 | Ba<br>140 | La<br>402 |

**الشكل 19-6** على عكس المركّباتِ الأيونيّة، جميعُ الفلزّاتِ قابلةٌ للطرْق. هذه الخاصّة تسمح، مثلاً، بإعطاءِ الحديدِ أشكالاً مختلفةً لتصنيعِ أدواتٍ مختلفة.

## مراجعةُ القسم 4-6

1. صف نموذجَ البحرِ الإلكترونيِّ للآصرةِ الفلزّية.
2. ما العلاقةُ بين قوّةِ الآصرةِ الفلزّيةِ ودرجةِ حرارةِ تبخُّرِ الفلزّ؟
3. اشرحْ لماذا تكونُ معظمُ الفلزّاتِ قابلةً للسحْبِ والطرْق، بعكسِ البلّوراتِ الأيونيّة.

## القسم 5-6

# هندسةُ الجزيئات

### النواتجُ التعليمية

- يفسِّرُ نظريةَ تنافرِ زوجِ إلكتروناتِ أوربتالِ التكافؤ (VSEPR).
- يتوقّعُ أشكالَ الجزيئاتِ أو الأيوناتِ المتعدّدةِ الذرّات، مستخدمًا نظريةَ تنافرِ زوجِ إلكتروناتِ أوربتالِ التكافؤ.
- يوضّحُ كيفَ تعلِّلُ نظريةُ التهجينِ أشكالَ الجزيئات.
- يصفُ القوى ثنائيةَ القطبِ-ثنائيةَ القطبِ والآصرةَ الهيدروجينيّةَ وقوى تشتّتِ لندن.
- يوضّحُ ما يحدّدُ القطبيّةَ الجزيئيّة.

لا تعتمدُ خواصُّ الجزيئاتِ على أواصرِ ذرّاتِها فقط، بل أيضًا على أشكالِها الهندسيّة (أيّ على الترتيبِ الفراغيِّ الثلاثيِّ الأبعادِ لذرّاتِ الجزيء). ومن هذا المنطلق، يتمُّ تحديدُ **القطبيّةِ الجزيئية** molecular polarity، وهي التوزيعُ غيرُ المتساوي لشحناتِ ذراتِ الجزيءِ بناءً على قطبيّةِ كلِّ آصرةٍ من ناحية، وشكلِ الجزيءِ من ناحيةٍ أخرى. وستتعرفُ من خلالِ هذا القسمِ أنَّ القطبيّةَ الجزيئيةَ لها تأثيرٌ كبيرٌ على القوى المتواجدةِ بين الجزيئاتِ في السوائلِ وفي الموادِّ الصلبة.

من المعروفِ أنَّ الصيغةَ الكيميائيّةَ لا تقدمُ معلوماتٍ كافيةً حولَ أشكالِ الجزيئات، لذلك قامَ الكيميائيّونَ بعدّةِ اختباراتٍ لكشفِ أشكالِ الجزيئاتِ المختلفة. أفضتْ إلى نظريّتينِ مختلفتين، تستخدمُ الأولى زوايا الآصرةِ الجزيئية، وتُعنى الأخرى بوصفِ الأوربتالاتِ التي تحتوي على إلكتروناتِ التكافؤِ في ذرّاتِ الجزيئات.

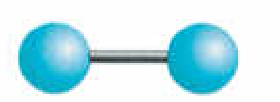
## نظريّةُ تنافرِ أزواجِ إلكتروناتِ التكافؤ

يُظهرُ **الشكلُ 20-6** أشكالَ الجزيئاتِ ثنائيةِ الذرّة، كالهيدروجين $H_2$ وكلوريد الهيدروجين HCl، التي يلزمُ أن تكونَ خطّيةً لاحتوائِها على ذرّتينِ فقط. ولتصوّرِ أشكالِ الجزيئاتِ الأكثرِ تعقيدًا، يجبُ مراعاةُ مواقعِ جميعِ أزواجِ الإلكتروناتِ المحيطةِ بالذرّاتِ المتآصرة. هذا هو أساسُ نظريّةِ **تنافرِ أزواجِ إلكتروناتِ التكافؤ** VSEPR theory لذرّاتِ الجزيء. تنصُّ هذه النظريّةُ على أنَّ التنافرَ الحاصلَ بين إلكتروناتِ التكافؤِ المحيطةِ بالذرّةِ يجعلُها تتباعدُ إلى أقصى حدّ. لكنْ كيفَ يمكنُ لهذا الافتراضِ أنْ يعلِّلَ أشكالَ الجزيئات؟

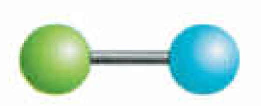
لنأخذْ حالةَ الجزيئاتِ التي لا تحتوي على إلكتروناتِ تكافؤٍ غيرِ مشتركةٍ حولَ النواةِ المركزيّة. لعلَّ المثالَ الأبسطَ الممكنَ تفحُّصُه بهذا الصددِ هو جزيءُ فلوريدِ البريليوم $BeF_2$ (تذكّرْ أنَّ البريليوم لا يتبعُ قاعدةَ الثمانية). تشكلُ ذرّةُ البريليوم آصرةً تساهميّةً معَ كلِّ ذرّةِ فلور، وتحاطُ بزوجينِ من الإلكتروناتِ فقطْ تتقاسمُهما معَ كلِّ ذرّةِ فلور.

$$:\ddot{F}:Be:\ddot{F}:$$

وطبقًا لنظريّةِ VSEPR تتباعدُ الأزواجُ المشتركةُ قدرَ الإمكان، وتصلُ هذه المسافةُ إلى أقصى حدٍّ لها عندما تتواجدُ أواصرُ ذرتَي الفلور على جانبَيّ ذرّةِ البريليوم على خطينِ بزاويةٍ مقدارُها 180° درجة، كما يظهرُ في **الشكل 21-6** (أ). وهكذا تقعُ الذرّاتُ الثلاثُ على خطٍّ مستقيمٍ لتشكّلَ الجزيءَ الخطّيّ. إذا مثّلنا الذرّةَ المركزيّةَ بالرمزِ A والذرّاتِ المرتبطةَ بها بالرمزِ B، يكونُ الجزيءُ $BeF_2$، طبقًا لنظريّةِ VSEPR، مثالاً للجزيءِ الافتراضيِّ $AB_2$ الذي يكونُ خطّيًّا. وهنا، هل يمكنُك تصوّرُ شكلِ الجزيءِ $AB_3$. في هذا الجزيءِ ستتباعدُ أواصرُ A__B الثلاثُ في اتجاهِ زوايا مثلّثٍ متساوي الأضلاعِ بزاويةٍ مقدارُها 120° بين الأواصرِ الثلاثة. ويوضّحُ **الشكلُ 21-6** (ب) هذا البناءَ الهندسيَّ لجزيءِ ثلاثي فلوريدِ



(أ) هيدروجين، $H_2$



(ب) كلوريدُ الهيدروجين، HCl

**الشكل 20-6** يوضحُ نموذجُ العصا والكرةِ الشكلَ الخطّيَّ للجزيئاتِ ثنائيةِ الذرّات. (أ) يمثِّلُ جزيءُ الهيدروجينِ بكرتينِ متشابهتينِ (ذرّتي الهيدروجين) متصلتينِ بعصا (الآصرةِ التساهميّة). (ب) يبقى جزيءُ كلوريدِ الهيدروجين HCl خطيًّا رغمَ أنّ ذرّاتِه مختلفة.

البورون.

على عكسِ جزيئاتِ $AB_2$ و $AB_3$ تتبعُ الذرّةُ المركزيةُ لجزيئاتِ $AB_4$ نظامَ قاعدةِ الثمانية، باشتراكِ 4 أزواجٍ من الإلكتروناتِ مع ذرّةِ B. وتتباعدُ المسافاتُ بينَ أزواجِ الإلكتروناتِ إلى حدِّها الأقصى إذا كانتِ الأواصرُ A__B متّجهةً اتجاه الزوايا الأربعِ لشكلٍ رباعيّ، حيثُ مقدارُ كلِّ زاويةٍ بينَ الأواصرِ 109.5° درجات.

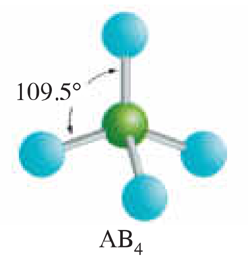
في **الشكل 21-6** (ج)، يظهرُ هذا البناءُ الهندسيُّ ممثّلاً لجزيءِ الميثانِ $CH_4$ على شكلٍ رباعيّ، وتصبحُ قيمةُ زاويةِ الآصرةِ التي تتكوّنُ بين الذرةِ A وأيٍّ من ذرّاتِ B مساويةً لـ 109.5 درجات.

في **الجدول 5-6** تتلخّصُ الأشكالُ المختلفةُ للجزيئات، حيثُ تمثّلُ B نوعًا واحدًا من الذرّات، أو مجموعةً من الذرّاتِ المتشابهة، أو مجموعةً من الذرّاتِ المختلفةِ في الجزيءِ نفسِه. ويبقى شكلُ الجزيءِ وفقًا للأشكالِ المعطاةِ في الجدول، علمًا بأنَّ أحجامَ مجموعاتِ B المختلفة تشوِّهُ زاويةَ الآصرة، ما يجعلُها أكبرَ أو أصغرَ من الزوايا الواردةِ في الجدول.

180°

$AB_2$

(أ) فلوريد البريليوم، $BeF_2$




(ب) ثلاثي فلوريد البورون، $BF_3$

109.5°

$AB_4$

(ج) الميثان، $CH_4$

**الشكل 21-6** يبيّنُ نموذجُ الكرةِ والعصا أشكالَ الجزيئاتِ في (أ) $AB_2$ (ب) $AB_3$ (ج) $AB_4$، طبقًا لنظريةِ VSEPR.

**الجدول 5-6 نظريةُ VSEPR وهندسةُ الجزيئات**

| شكلُ الجزيء | | عددُ الذرّاتِ المرتبطةِ بالذرّةِ المركزية | عددُ الأزواجِ غيرِ المشتركة | نوعُ الجزيء | الصيغة (مثال) | تركيبُ لويس |
|---|---|---|---|---|---|---|
| خطّي | | 2 | 0 | $AB_2$ | $BeF_2$ | :F–Be–F: |
| زاوي | | 2 | 1 | $AB_2E^*$ | $SnCl_2$ | Sn, :Cl, Cl: |
| مثلّثٌ مسطّح | | 3 | 0 | $AB_3$ | $BF_3$ | F, F, B, F |
| رباعيُّ الأوجه | | 4 | 0 | $AB_4$ | $CH_4$ | H–C–H (H, H) |
| هرميٌّ ثلاثيّ | | 3 | 1 | $AB_3E$ | $NH_3$ | N, H H H |
| زاويّ | | 2 | 2 | $AB_2E_2$ | $H_2O$ | O, H H |
| هرمٌ مزدوجٌ ثلاثيّ | 90°، 120° | 5 | 0 | $AB_5$ | $PCl_5$ | Cl, Cl, Cl–P, Cl, Cl |
| ثمانيُّ الأوجه | 90°، 90° | 6 | 0 | $AB_6$ | $SF_6$ | F, F, F, S, F, F, F |

* E تمثلُ زوجًا من الإلكتروناتِ غيرِ المشتركة.

**مسألة نموذجية 5-6**

**تَوَقَّعِ الشكلَ الهندسيَّ لثلاثي كلوريدِ الألمنيوم، $AlCl_3$ استنادًا إلى نظريّةِ VSEPR**

**الحلّ**

اكتبْ تركيب لويس للجزيءِ $AlCl_3$ أولاً، علمًا أنَّ الألمنيوم ينتمي إلى الزمرةِ 13، وله 3 إلكتروناتٍ تكافؤ.

·Al·

أما الكلورُ فينتمي إلى الزمرةِ 17، وله 7 إلكتروناتِ تكافؤ.

:Cl:

يصبحُ العددُ الإجماليُّ لإلكتروناتِ التكافؤِ المتوافرة $24e^-$ (3 من الألمنيوم و 21 من الكلور). ويصبحُ تركيب لويس المستخدم لـ 24 إلكترونًا على الشكلِ التالي:

:Cl:
120° Al 120°
:Cl: :Cl:
120°

يمثِّلُ هذا الجزيءُ استثناءً لقاعدةِ الثمانية، لأنَّ الألمنيوم Al، في هذه الحالة، يشكِّلُ 3 أواصرَ فقط. إنَّ جزيءَ ثلاثي كلوريد الألمنيوم هو من نوعِ $AB_3$. لهذا، وطبقًا لنظريّةِ VSEPR، يكونُ شكلُهُ الهندسيُّ مثلّثًا مسطحًا.

**تمارينُ تطبيقية**

استخدمْ نظريةَ VSEPR لتحدِّدَ أشكالَ الجزيئاتِ التالية:

أ. HI
ب. $CBr_4$
ج. $AlBr_3$
د. $SF_6$
هـ. $CH_2Cl_2$

**الأجوبة:**

أ. شكلُهُ خطّيّ
ب. شكلُهُ رباعيُّ الأوجه
ج. شكلُهُ مثلّثٌ مسطح
د. شكلُهُ ثمانيّ
هـ. شكلُهُ رباعيٌّ الأوجه

## نظريّةُ VSEPR وأزواجُ الإلكتروناتِ غيرُ المشترَكةِ (المتوحدة)

يشكِّلُ جزيئا الأمونيا $NH_3$ والماءِ $H_2O$ مثلين على الجزيئاتِ التي لذرّاتِها المركزيةِ أزواجٌ من الإلكتروناتِ مشتركةٌ وأخرى غيرُ مشترَكة (انظرِ **الجدول 5-6** لتركيب لويس). كيفَ يمكنُ لنظريةِ VSEPR أنْ تعلِّلَ أشكالَ هذه الجزيئات؟

تُظهرُ تركيبُ لويس للأمونيا أنَّ ذرّةَ النيتروجينِ المركزيةَ تتقاسمُ 3 أزواجٍ مشترَكةٍ مع ذرّاتِ الهيدروجينِ الثلاث، ولها زوجٌ غيرُ مشتركٍ من الإلكترونات.

H:N̈:H
H

وتفيدُ نظريةُ VSEPR أنَّ الزوجَ غيرَ المشتركِ يشغَلُ جزءًا من الأوربتالِ المحيطِ بالنيتروجين، كما تفعلُ تمامًا الأزواجُ المتآصرة، أي المشتركة. لهذا، تتباعدُ أزواجُ الإلكتروناتِ كما في جزيءِ $AB_4$ لتشغلَ الزوايا الأربعَ لشكلٍ رباعيّ. كذلك الأمرُ بالنسبةِ إلى الزوجِ غيرِ المشترك، لكنّنا، في وصفِ الجزيء، نُظهرُ فقطْ الذرّاتِ ومواقعَها. وفي النتيجة، يكونُ جزيءُ الأمونيا على شكلِ هرمٍ ذي قاعدةٍ مثلّثة (**الشكل 22-6** (أ)). وتكونُ صيغةُ جزيءِ الأمونيا، بشكلٍ عامّ، بحسبِ نظريةِ VSEPR، $AB_3E$، حيثُ يمثِّلُ الحرفُ E الزوجَ غيرَ المشترك من الإلكترونات.

وجزيءُ الماءِ يحتوي على زوجينِ من الإلكتروناتِ غيرِ المشتركة. فهو إذنْ على الشكل $AB_2E_2$. وتحتلُّ ذرّةُ الأكسجينِ نقطةَ الوسطِ في الشكلِ الرباعيّ. فيما تشغلُ ذرّتا

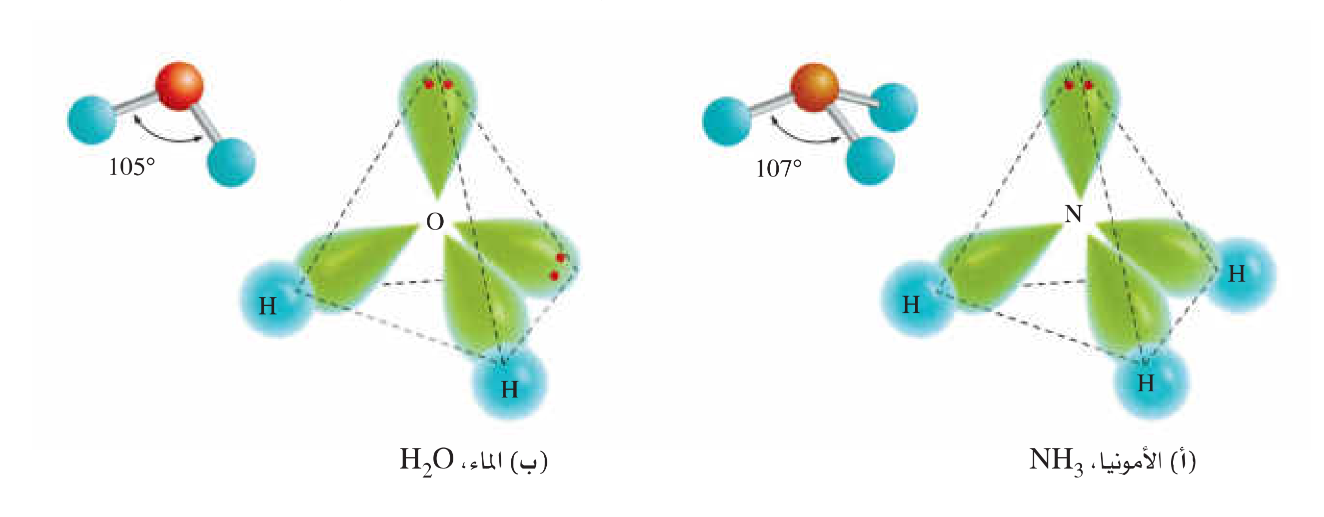
الهيدروجينِ زاويتين، كذلك الأمرُ بالنسبةِ إلى زوجي الإلكتروناتِ غيرِ المشتركين (**الشكل 22-6** (ب)).

ومرةً أخرى، تذكرُ نظريةُ VSEPR أنَّ الأزواجَ غيرَ المشتركةِ تشغلُ أوربتالاً حولَ الذرّةِ المركزية، لكنَّ الشكلَ الفعليَّ للجزيءِ يتحدّدُ بموقعِ الذرّاتِ فقط. ويؤدّي هذا الأمرُ إلى التواءِ أو انحناءِ جزيءِ الماء.

الملاحظُ في **الشكلِ 22-6** (ب) أيضًا أنَّ للأواصرِ في كلٍّ من الأمونيا والماءِ زوايا أقلَّ من 109.5 درجات، أيّ أقلَّ من زوايا الشكلِ الرباعيِّ المثاليّ. ويعودُ السببُ في ذلك إلى أنَّ التنافرَ بين الأزواجِ غيرِ المشتركة أكبرُ من التنافرِ بين الأزواجِ المتآصرة.

يتضمّنُ **الجدولُ 5-6** أيضًا مثلاً على جزيءِ $AB_2E$ الذي ينتجُ عندما تكوّنُ الذرّةُ المركزيةُ آصرتينِ وتحتجزُ زوجًا واحدًا من الإلكترونات غيرَ مشتركٍ.

أخيرًا، وحسبَ نظريةِ VSEPR، تُعامَلُ الأواصرُ الثنائيةُ والثلاثيةُ كأنّها أواصرُ أحادية، ويتوقّعُ أيضًا أن تعامَلَ الأيوناتُ المتعدّدةُ الذرّاتِ كما تعامَلُ الجزيئات. إذن فالاستعانةُ **بالجدولِ 5-6** وبتركيب لويس تتيحُ توقُّعَ أشكالِ الأيوناتِ المتعدّدةِ الذرّات، وأيضًا أشكالَ الجزيئاتِ التي تحتوي على أواصرَ ثنائيةٍ وثلاثية.




(ب) الماء، $H_2O$

(أ) الأمونيا، $NH_3$

**الشكل 22-6** يبينُ الشكلُ مراكزَ الأواصر والإلكتروناتِ غيرِ المشتركةِ لجزيئَيْ (أ) الأمونيا (ب) الماء. على الرغم من أنَّ الإلكتروناتِ غيرَ المشتركةِ تشغلُ الأوربتالَ المحيطَ بالذرّةِ المركزية، فإن أشكالَ الجزيئاتِ تعتمدُ فقطْ على مواقعِ ذرّاتِ الجزيئات، كما يظهرُ جليًّا في نموذجِ الكرةِ والعصا.

**مسألة نموذجية 6-6**

**أ. توقعْ شكلَ جزيءِ ثنائي أكسيدِ الكربون $CO_2$ مستخدمًا نظريةَ VSEPR.**

**ب. توقعْ شكلَ أيونِ الكلوراتِ $ClO_3^-$ مستخدمًا نظريةَ VSEPR.**

**الحلّ**

أ. يشيرُ تركيبُ لويس إلى أنَّ جزيءَ ثنائي أكسيدِ الكربونِ له آصرتان مزدوجتان بين الكربونِ والأكسجين، ويشيرُ أيضًا إلى عدمِ وجودِ أزواجٍ غيرِ مشتركةٍ من إلكتروناتِ الكربون. لتبسيطِ الصيغة، تستعملُ المعترضاتُ بدلَ النُّقَطِ في تمثيلِ تركيبِ لويس $\ddot{O}=C=\ddot{O}$

هذا الشكلُ هو نموذجٌ لجزيءِ $AB_2$ الذي يكونُ خطِّيًّا.

ب. يشيرُ تركيبُ لويس إلى أنَّ ذرّةَ الكلورِ المركزيةَ محاطةٌ بثلاثِ ذرّاتِ أكسجينٍ وبزوجٍ غيرِ مشتركٍ من الإلكترونات. هنا أيضًا تُستعمَلُ المعترضاتُ لتمثيلِ الأواصرِ التساهميّة:

$$\left[\begin{array}{ccc} & \ddot{Cl} & \\ :\ddot{O} & | & \ddot{O}: \\ & :\ddot{O}: & \end{array}\right]^-$$

إنَّ أيونَ الكلوراتِ هو من نوعِ $AB_3E$، وشكلهُ هرميّ، حيثُ تشغلُ ذرّاتُ الأكسجينِ قاعدةَ الهرمِ وذرّةُ الكلورِ قمةَ الهرم.

**تمارينُ تطبيقية**

إذا أُعطيَتْ تركيب لويس للجزيئَينِ التاليين، توقّعْ شكليهما مستخدمًا نظريةَ VSEPR:

أ. $:\ddot{F}-\ddot{S}-\ddot{F}:$

ب. $:\ddot{Cl}-\underset{\underset{:\ddot{Cl}:}{|}}{\ddot{P}}-\ddot{Cl}:$

**الأجوبة:**

أ. زاويّ

ب. شكلُهُ هرميٌّ ثلاثيّ

## التهجين

لعلّك لاحظتَ أهميّةَ نظريّةِ VSEPR في توقعِ أشكالِ الجزيئاتِ المختلفة. مع ذلك لم تستطعْ هذه النظريةُ أنْ تُظهرَ العلاقةَ بين هندسةِ الجزيئاتِ وبين الأوربتالات الممتلئةِ بإلكتروناتِ التآصر.

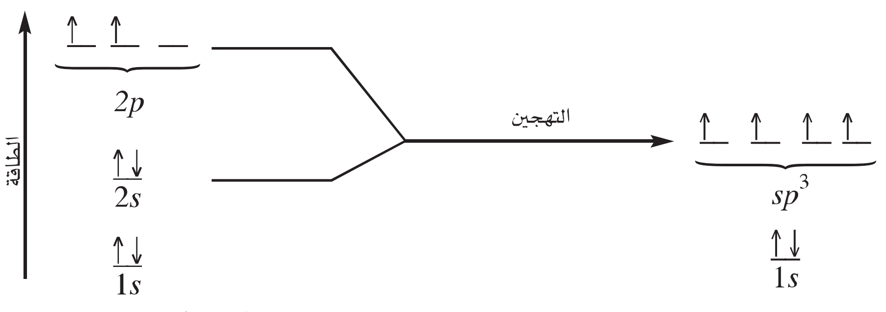
تأمّلِ الترتيبَ الإلكترونيَّ لذرةِ الكربون

$$C \quad \underset{1s}{\uparrow\downarrow} \quad \underset{2s}{\uparrow\downarrow} \quad \underbrace{\underline{\uparrow} \;\; \underline{\uparrow} \;\; \underline{\;\;}}_{2p}$$

ما تفسيرُك لتكوينِ الكربونِ لمركّبٍ مثلِ الميثان، كيفَ تفسرُ وجودَ أربعِ أواصرَ تساهميّةٍ أحاديةٍ متماثلةٍ فيه؟

من المعروفِ أنَّ اثنينِ من إلكتروناتِ التكافؤِ في ذرةِ الكربونِ يشغلانِ الأوربتالَ $2s$، واثنينِ آخرين يشغلانِ الأوربتالَ $2p$. وما يجبُ تذكُّرُه هو أنَّ لهذينِ الأوربتالين أشكالاً مختلفة. ولتفسيرِ كيفيةِ تكوينِ الأواصرِ التساهميّةِ الأربعِ المتماثلة، لا بدَّ من اندماجِ أوربتالاتِ الكربون، أوربتالِ $2s$ والأوربتالاتِ الثلاثةِ $2p$، لتَنتُجَ أربعةُ أوربتالاتٍ جديدةٍ متماثلةٍ تُسمّى $sp^3$. وعمليةُ الدمجِ هذه تُسمّى **التهجين** hybridization.

تنصُّ عمليةُ التهجينِ على أنَّه عند دمجِ أوربتالين، أو أكثر، لذرةٍ واحدةٍ، متشابهين في مستوى طاقتِهما، تَنتُجُ أوربتالاتٌ جديدةٌ ذاتُ طاقاتٍ متساوية. ويظهرُ في **الشكل 6-23** أنَّ جميعَ أوربتالاتِ $sp^3$ متساويةٌ في الطاقة، لكنَّ طاقتَها أكبرُ من طاقةِ الأوربتال $2s$ وأقلُّ من طاقةِ أوربتالاتِ $2p$.




أوربتالاتُ الكربون قبل التهجين

أوربتالاتُ الكربون بعد التهجين $sp^3$

**الشكل 6-23** يتمُّ تهجينُ $sp^3$ للأوربتالاتِ الخارجيةِ للكربون باندماجِ أوربتالٍ واحدٍ $s$ مع ثلاثةِ أوربتالاتِ $p$، فينتجُ من ذلك 4 أوربتالاتٍ مهجَّنةٍ $sp^3$. وكلما حدث تهجينٌ للأوربتالات، تكونُ الأوربتالاتُ المهجَّنةُ الناتجةُ في مستوى طاقةٍ متوسطٍ بين مستوياتِ طاقاتِ الأوربتالاتِ المندمجة.

**الأوربتالاتُ المهجّنةُ** hybrid orbitals، هي أوربتالاتٌ ذاتُ طاقاتٍ متساويةٍ ناتجةٍ من اندماجِ اثنينِ أو أكثرَ من أوربتالاتِ ذرّةٍ واحدة. إنَّ عددَ الأوربتالاتِ المهجّنةِ الناتجةِ مساوٍ لعددِ الأوربتالاتِ المندمجة. يُظهرُ **الشكلُ 6-24** تآصرَ الأوربتالات $sp^3$ للكربونِ في جزيءِ الميثان.

ميثان، $CH_4$

**الشكل 6-24** يمثِّلُ الأواصرَ الناتجةَ من تداخلِ أوربتالاتِ $1s$ لذرّاتِ الهيدروجين وأوربتالاتِ $sp^3$ لذرّاتِ الكربون.

## القوّةُ البينيّةُ للجزيئات

تتزايدُ الطاقةُ الحركيةُ لجزيئاتِ السوائلِ عند تسخينِها، إلى أنْ تتغلّبَ على قوى التجاذبِ الموجودةِ فيما بينها. عند ذلك تتباعدُ هذه الجزيئاتُ فتتحوّلُ السوائلُ إلى غازات. تعتبرُ درجةُ الغليانِ مقياسًا جيدًا لقوى التجاذبِ الموجودةِ بين الجزيئات. وبالفعل، كلّما ازدادتْ قوى التجاذبِ بين الجزيئاتِ ارتفعتْ درجةُ الغليان.

تُسمّى قوى التجاذبِ بين الجزيئاتِ **القوى البينيّة** intermolecular forces. تختلفُ شدّةُ هذه القوى لكنَّها تبقى بالإجمالِ أضعفَ من شدّةِ الأواصرِ التي تجمعُ بين الذرّاتِ المكوِّنةِ للجزيئات، أو بين أيوناتِ المركّباتِ الأيونية، أو بين الذرّاتِ الفلزّيةِ في الفلزّاتِ الصلبة (قارنْ بين درجاتِ الغليانِ للمركّباتِ الأيونيةِ والفلزّات، وهي تظهرُ في **الجدولِ 6-6**). يبيِّنُ **الجدولُ 6-6** أنَّ درجاتِ غليانِ المركّباتِ الأيونيةِ والفلزّاتِ مرتفعةٌ إذا ما قورنتْ بدرجاتِ غليانِ المركّباتِ التساهميّةِ (الجزيئية).

**الجدول 6-6 درجاتُ الغليانِ و نوعُ الآصرة**

| نوع الآصرة | المادة | bp (1 atm, ˚C) |
|---|---|---|
| تساهميةٌ غيرُ قطبية (جزيئية) | $H_2$ | –253 |
| | $O_2$ | –183 |
| | $Cl_2$ | –34 |
| | $Br_2$ | 59 |
| | $CH_4$ | –164 |
| | $CCl_4$ | 77 |
| | $C_6H_6$ | 80 |
| تساهميةٌ قطبية (جزيئية) | $PH_3$ | -88 |
| | $NH_3$ | -33 |
| | $H_2S$ | -61 |
| | $H_2O$ | 100 |
| | HF | 20 |
| | HCl | -85 |
| | ICl | 97 |
| أيونية | NaCl | 1413 |
| | $MgF_2$ | 2239 |
| فلزّية | Cu | 2567 |
| | Fe | 2750 |
| | W | 5660 |

## القطبيّةُ الجزيئيّةُ والقوى ثنائيّةُ القطبِ-ثنائيّةُ القطب

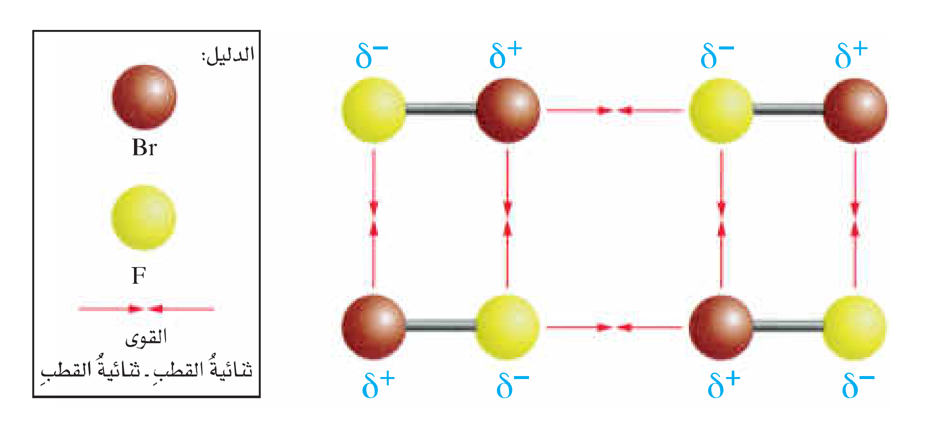
تعدُّ القوى التي تربطُ الجزيئاتِ القطبيةَ من أشدِّ القوى البينية. والسببُ في ذلك هو أنَّ الجزيئاتِ القطبيةَ تتفاعلُ وكأنّها مغناطيسٌ ذو قطبينِ بسببِ التوزيعِ غيرِ المتكافيءِ لشحناتِها. ويتولّدُ ما يعرفُ **بثنائيةِ القطبِ** dipole كلّما وُجِدتْ شحناتٌ متضادةٌ لكنْ متساويةٌ في الشدّةِ تفصلُ بينها مسافاتٌ قصيرة. يُرمزُ إلى الثنائيةِ القطبيةِ بسهمٍ رأسُهُ موجّهٌ من القطبِ الموجبِ إلى القطبِ السالبِ وطرفهُ مقطوعٌ بمعترضةٍ رأسيةٍ صغيرة. ومثالُ ذلك جزيءُ كلوريدِ الهيدروجين:

$$\overset{\longmapsto}{H-Cl}$$

## القوى ثنائيّةُ القطبِ-ثنائيّةُ القطب

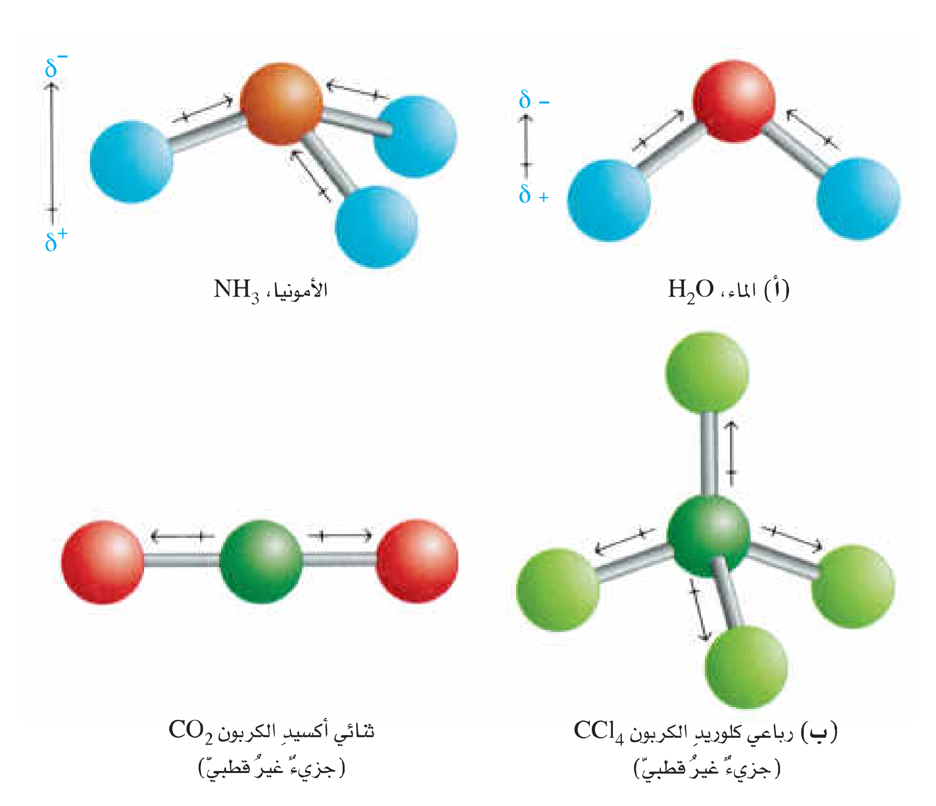
نتيجةً لوجودِ الشحناتِ الجزيئيةِ المتضادةِ في الجزيءِ القطبيِّ يحدثُ تجاذبٌ بين شحناتِه الجزيئيةِ السالبةِ والشحناتِ الجزيئيةِ الموجبةِ في الجزيئاتِ المجاورةِ لها. ويحدثُ ذلك في السوائلِ والموادِّ الصلبة. تُسمّى هذه القوى الناشئةُ بين الجزيئاتِ القطبيةِ القوى **ثنائيةَ القطبِ-ثنائيةَ القطب** dipole-dipole forces، وهي تؤثرُ في الجزيئاتِ المتجاورةِ فقط. ويظهرُ مفعولُ هذه القوى جليًّا من خلالِ التفاوتِ الكبيرِ في درجاتِ الغليانِ بين غازَي فلوريدِ البرومِ Br–F القطبيِّ والفلورِ F–F غيرِ القطبيّ، حيثُ درجةُ غليانِ الأولِ 20˚C– ودرجةُ غليانِ الثاني 188ºC–. تتوضّحُ تخطيطيًّا القوى ثنائيةُ القطبِ-ثنائيةُ القطبِ التي تسبَّبتْ في هذا التفاوتِ في درجتيْ غليانِ المركّبينِ في **الشكل 25-6**.

**الشكل 6-25** من خلالِ نموذجِ الكرةِ والعصا تتوضَّحُ القوى ثنائيةُ القطبِ–ثنائيةُ القطبِ بين جزيئاتِ فلوريدِ البروم BrF، حيثُ تحملُ ذرّةُ الفلور F ذاتُ السالبيةِ العاليةِ شحنةً جزيئيةً سالبة، ممّا يجعلُ ذرّةَ البروم Br تحملُ شحنةً جزيئيةً موجبة. ويؤدّي ذلك إلى تجاذبٍ بين الأطرافِ السالبةِ والموجبةِ للجزيئاتِ المتجاورة.




تتحدّدُ قطبيةُ الجزيئاتِ الثنائيةِ الذرّات، كفلوريدِ البروم BrF، بآصرةٍ واحدة، بينما تتوقفُ قطبيةُ الجزيئاتِ المتعددةِ الذرّاتِ والمحتويةِ على عدةِ أواصرَ على عاملينِ اثنين، هما قطبيةُ الأواصرِ واتجاهُ كلِّ آصرة. فمثلاً في جزيءِ الماءِ الزاويِّ الشكلِ توجدُ آصرتانِ اثنتانِ قطبيتانِ تعطيانِ قطبيةً عاليةً للجزيء (**الشكل 6-26**). وبالنسبةِ إلى الأمونيا أيضًا، الأواصرُ الثلاثُ N–H تولّدُ مجتمعةً ثنائيةً قطبيةً خالصة. وفي بعضِ الجزيئات، تلغي بعضَها الأواصرُ المنفردةُ الثنائيةُ القطب، مما يؤدّي إلى إبطالِ قطبيةِ الجزيءِ بالإجمال، كما يحصلُ في مثل $CO_2$ و $CCl_4$.

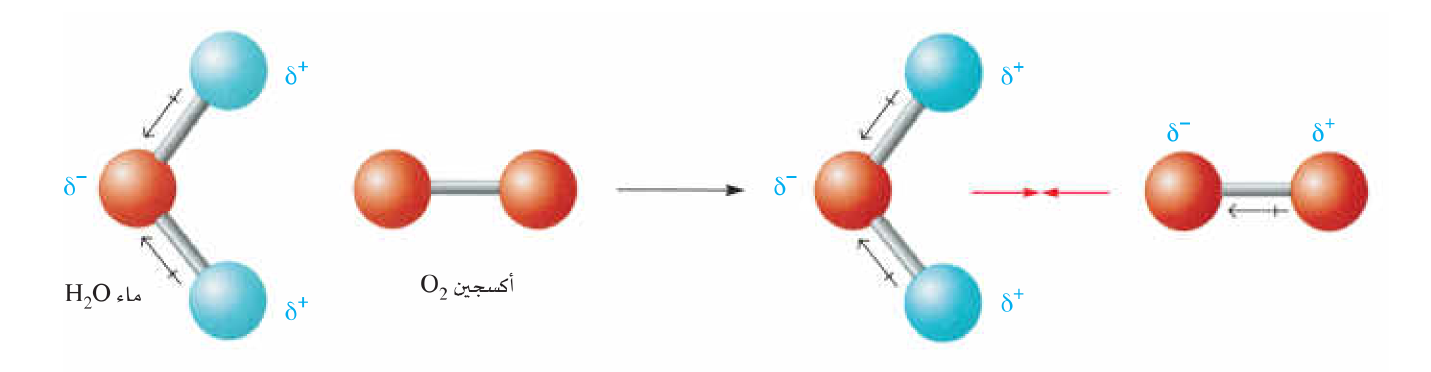
تتسبّبُ قطبيةُ الجزيءِ في خلقِ قطبٍ ثنائيٍّ ضعيفٍ في الجزيئاتِ غيرِ القطبيةِ من خلالِ الجذبِ المؤقّتِ للإلكترونات. والنتيجةُ تكونُ قوًى بينيةً قصيرةَ المدى، إلا أنَّها أضعفُ من القوى ثنائيةِ القطبِ–ثنائيةِ القطب، وهذا يعلِّلُ قابليةَ ذوبانِ الأكسجينِ غيرِ القطبيِّ في الماء.




(أ) الماء، $H_2O$ — الأمونيا، $NH_3$

(ب) رباعي كلوريدِ الكربون $CCl_4$ (جزيءٌ غيرُ قطبيّ) — ثنائي أكسيدِ الكربون $CO_2$ (جزيءٌ غيرُ قطبيّ)

**الشكل 6-26** لاحظِ الأسهمَ التي تمثلُ محصّلةَ القوى في جزيئَي الماءِ والأمونيا والتي لا تلغي بعضَها في حين أنَّ محصّلةَ القوى في كلٍّ من رباعي كلوريدِ الكربون وثنائي أكسيدِ الكربون يُلغي بعضُها بعضًا، مما يجعلُ الجزيءَ غيرَ قطبيّ.

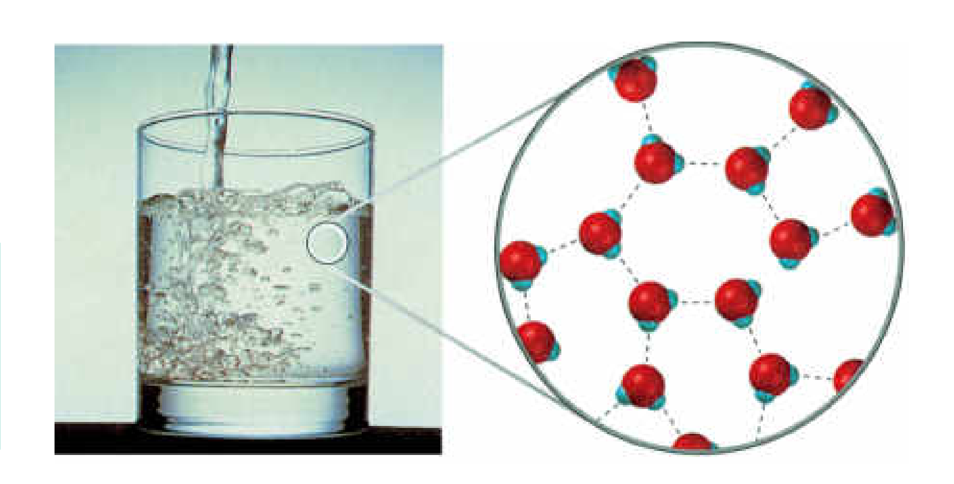



**الشكل 6-27** القطبُ الثنائيُّ يولِّدُ تجاذبًا داخليًا ثنائيًّا، فيسبّبُ القطبُ الموجبُ لجزيءِ الماءِ تغيُّرًا مؤقتًا في انتشارِ الإلكتروناتِ في جزيءِ الأكسجين، والقطبُ السالبُ الذي يتكوّنُ في جزيءِ الأكسجينِ ينجذبُ إلى القطبِ الموجبِ لجزيءِ الماء.

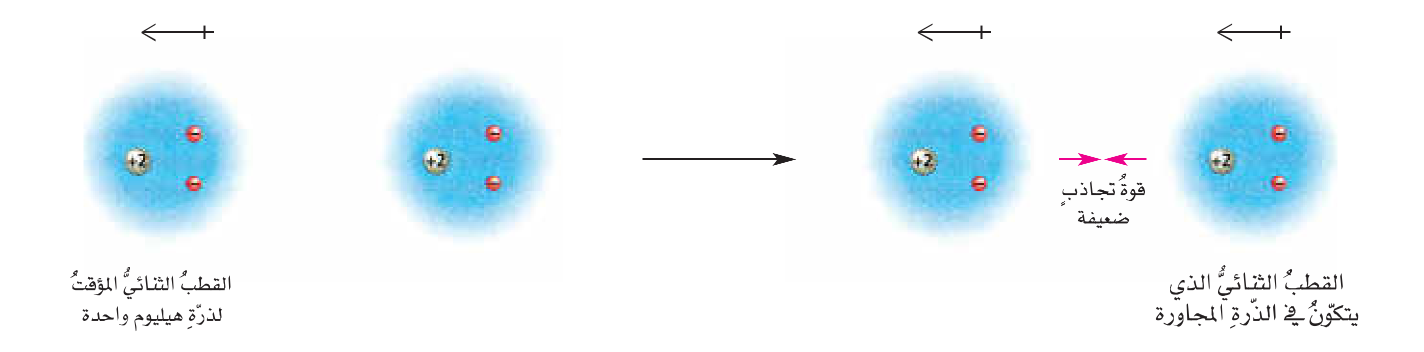
القطبُ الموجبُ لجزيءِ الماءِ يجذبُ إلكتروناتِ التكافؤِ الخارجيةَ لجزيءِ الأكسجينِ المجاور، ويتسبّبُ في توليدِ قطبٍ سالبٍ من جهةِ الماءِ وقطبٍ موجبٍ من الجهةِ الأخرى. والنتيجةُ النهائيةُ انجذابُ الأكسجين نحوَ جزيئاتِ الماءِ (كما يظهرُ في **الشكل 6-27**).

## الآصرةُ الهيدروجينيّة

يفسِّرُ النوعُ الخاصُّ من القوى ثنائيةِ القطبِ-ثنائيةِ القطبِ درجةَ الغليانِ العاليةَ جدًّا (وغيرَ الاعتياديّة) لبعضِ المركّباتِ الهيدروجينية، كالأمونيا $NH_3$، وفلوريدِ الهيدروجين $HF$، والماء $H_2O$. في مثلِ هذه المركّباتِ ترجعُ قطبيةُ الأواصرِ العاليةُ جدًّا إلى الفروقاتِ العاليةِ في الكهرسلبيةِ بين ذرّاتِ H من جهةٍ وذرّاتِ F وO وN في هذه المركّباتِ من جهةٍ أخرى. وهذا يعطي ذرّةَ الهيدروجينِ شحنةً موجبةً تساوي تقريبًا نصفَ شحنةِ البروتون. كذلك يسمحُ لها صغرُ حجمِها بالتقرّبِ من زوجِ الإلكتروناتِ غيرِ المشتركةِ للجزيءِ المجاور. وهذا ما يُعرفُ **بالآصرةِ الهيدروجينيّة** hydrogen bond، التي تنتجُ من ارتباطِ الهيدروجينِ بذرّةٍ ذاتِ سالبيةٍ عالية، مما يجعلُ الهيدروجينَ ينجذبُ إلى زوجِ الإلكتروناتِ غيرِ المشتركةِ في الذرّةِ ذاتِ الكهرسلبيةِ العاليةِ من ذرّاتِ الجزيءِ المجاور. ويُرمزُ إلى تلك القوى بخطوطٍ متقطّعةٍ تربطُ الهيدروجينَ بالزوجِ غيرِ المشترك للذرّةِ ذاتِ الكهرسلبيةِ العاليةِ في الجزيءِ المجاور، كما يظهرُ في **الشكل 6-28**. ويظهرُ تأثيرُ الآصرةِ الهيدروجينيّةِ في المقارنةِ بين درجاتِ الغليانِ لمركّباتِ الفوسفينِ $PH_3$ والأمونيا $NH_3$ في **الجدول 6-5**. فكيفَ نقارنُ بين كبريتيد الهيدروجينِ $H_2S$ والماءِ $H_2O$ ذي الآصرةِ الهيدروجينيّةِ القوية؟



**الشكل 6-28** يوضِّحُ هذا النموذجُ التآصرُ الهيدروجينيُّ لجزيئاتِ الماء. تدلّ الخطوطُ المتقطّعةُ على التجاذبِ بين ذرّاتِ الأكسجينِ ذاتِ الكهرسلبيةِ العاليةِ وذرّاتِ الهيدروجينِ ذاتِ الكهرسلبيةِ المنخفضةِ في الجزيئاتِ المجاورة.




**الشكل 6-29** عندما يتكوّنُ قطبٌ ثنائيٌّ موقّتٌ في ذرّةِ هيليوم، ينتجُ منه تكوّنُ قطبٍ ثنائيٍّ في الذرّةِ المجاورة.

## قوى تشتّتِ لندن

هل يوجدُ تآصرٌ بين جزيئاتِ المركّباتِ غيرِ القطبية؟ من المعروفِ أنَّ الإلكتروناتِ داخلَ أيِّ ذرّةٍ أو جزيءٍ هي في حالةِ حركةٍ دائمة، سواءٌ كانتِ الذرةُ أو الجزيءُ قطبيةً أو لا قطبية. وبذلك، قد يصبحُ توزيع هذه الإلكتروناتِ في أيِّ لحظةٍ غيرَ متساوٍ. وتخلقُ الشحناتُ الموجبةُ المؤقتةُ وغيرُ المتساويةِ قطبًا موجبًا في جزءٍ من الذرّةِ أو من الجزيء، وقطبًا سالبًا مناظرًا له في جزءٍ آخر. وتؤدّي هذه القطبيةُ الثنائيةُ المؤقّتةُ بدورها إلى قطبيةٍ ثنائيةٍ في الذرّاتِ والجزيئاتِ المجاورة (كما يوضحُ **الشكلُ 6-29**).

إنَّ التجاذبَ البينيَّ الناتجَ من حركةِ الإلكتروناتِ المستمرّةِ ومن تكوينِ القطبيةِ الثانويةِ المؤقّتةِ يُسمّى **قوى تشتّتِ لندن** London dispersion Forces، نسبةً إلى الباحثِ فريتز لندن الذي افترضَ وجودَ الظاهرةِ هذه سنةَ 1930. توجدُ هذه الظاهرةُ في جميعِ الذرّاتِ والجزيئاتِ بلا استثناء، لكنَّها القوةُ البينيّةُ الوحيدةُ التي توجدُ في ذرّاتِ الغازِ النبيلِ وجزيئاته غيرِ القطبية، أو ذاتِ القطبيةِ الضعيفة.

وتنعكسُ هذه الحقيقةُ على درجاتِ الغليانِ المنخفضةِ للغازاتِ النبيلةِ والمركّباتِ غيرِ القطبيةِ المدرجةِ في **الجدول 6-5**. قوى تشتّتِ لندن تعتمدُ على حركةِ الإلكترونات، لذلك هي تزدادُ بازديادِ عددِ الإلكتروناتِ في الذرّاتِ والجزيئاتِ. وبعبارةٍ أخرى، إنَّ قوى تشتتِ لندن تزدادُ بازديادِ العددِ الكتليّ. وفي الإمكانِ ملاحظةُ هذا الأمرِ عند مقارنةِ درجاتِ غليانِ الغازاتِ التالية: الهيليوم He، الأرجون Ar، الهيدروجين $H_2$، الأكسجين $O_2$، الكلور $Cl_2$، والبروم $Br_2$.

## مراجعةُ القسم 6-5

1. ما النظريتانِ المستخدمتانِ لتحديدِ أشكالِ الجزيئات؟
2. ارسمْ تركيبَ لويس وحدِّد، مستخدمًا نظرية VSEPR أشكالَ الجزيئاتِ التالية:
   أ. $SO_2$ ب. $Cl_4$ ج. $BCl_3$
3. اذكرْ بعضَ العواملِ التي تؤثّرُ في الأشكالِ الهندسيةِ للجزيئات.
4. اشرحْ ما المقصودُ بالتهجين $sp^3$.
5. أيُّ نوعٍ من القوى بين الجزيئاتِ يساهمُ في رفعِ درجةِ غليانِ الماء؟ اشرحْ.

# مراجعةُ الفصل 6

## ملخّصُ الفصل

### 1-6

- تتآصرُ معظمُ الذرّاتِ فيما بينها كيميائيًّا.
- إنَّ أهمّ أنواع الأواصر الكيميائيةِ هي: الآصرةُ الأيونيةُ، والآصرةُ التساهمية، والآصرةُ الفلزّية.
- بشكل عامّ، تتآصرُ ذرّاتُ الفلزاتِ أيونيًّا بذرّاتِ اللافلزّات، وذرّاتُ الفلزّاتِ تتآصرُ فلزيًّا فيما بينها، بينما تتآصرُ ذرّاتُ اللافلزّاتِ تساهميًّا فيما بينها.

**المفردات**

| | | | |
|---|---|---|---|
| آصرةٌ أيونية | (151) ionic bond | آصرةٌ تساهميةٌ قطبية | (152) polar-covalent bond |
| آصرةٌ تساهمية | (151) covalent bond | آصرةٌ كيميائية | (151) chemical bond |
| آصرةٌ تساهميةٌ غيرُ قطبية | (152) non polar-covalent bond | قطبيّ | (152) polar |

### 2-6

- تتآصرُ الذرّاتُ في جميعِ الجزيئاتِ بأواصرَ تساهمية.
- يتمثّلُ طولُ الآصرةِ بينَ ذرّتَيْ جزيءٍ في المسافةِ التي تصبحُ عندها الطاقةُ الكامنةُ للذرّاتِ المتآصرةِ أقلَّ ما يمكن.
- تنصُّ قاعدةُ الثمانيةِ على أنَّ العديدَ من المركّباتِ الكيميائيةِ تميلُ إلى تكوينِ أواصرَ بحيثُ تمتلكُ كلُّ ذرّةٍ أو تتشاركُ في 8 إلكتروناتٍ في مستوى طاقتِها الأعلى المشغول بالإلكترونات، من خلالِ اكتسابِها الإلكتروناتِ أو فقدِها لها أو مشاركتِها فيها.
- تتكوّنُ آصرةٌ تساهميةٌ مفردةٌ عندَما تتشاركُ ذرّتانِ في زوجٍ من الإلكترونات. وعندما تتشاركُ الذرّاتُ في أكثرِ من زوجٍ من الإلكتروناتِ تكونُ الآصرةُ تساهميّةً متعدّدة.
- تُمثَّلُ الأواصرُ بين الجزيئاتِ والأيوناتِ بتركيب لويس.

**المفردات**

| | | | |
|---|---|---|---|
| تركيبُ لويس | (160) lewis structure | زوجٌ غيرُ مشترك | (159) unshared pair |
| الترميزُ النقطيُّ للإلكترون | (159) electron-dot notation | الصيغةُ البنائية | (160) structural formula |
| الجزيء | (154) molecule | الصيغةُ الجزيئية | (154) molecular formula |
| جزيءٌ ثنائيُّ الذرّة | (154) diatomic molecule | الصيغةُ الكيميائية | (154) chemical formula |
| آصرةٌ أحادية | (160) single bond | طاقةُ الآصرة | (156) bond energy |
| آصرةٌ ثلاثية | (161) triple bond | طولُ الآصرة | (156) bond length |
| آصرةٌ ثنائية | (161) double bond | قاعدةُ الثمانية | (157)) octet rule |
| أواصرُ متعدّدة | (162) mulitple bond | مركّبٌ جزيئي | (154) molecular compound |

### 3-6

- يتكوّنُ المركّبُ الأيونيُّ من شبكةٍ ثلاثيةِ الأبعادِ من أيوناتٍ موجبةٍ وأيوناتٍ سالبةٍ متجاذبةٍ فيما بينها.
- قوّةُ التجاذبِ الكبيرةُ بينَ الأيوناتِ السالبةِ والموجبةِ تجعلُ المركّباتِ الأيونيةَ صلبةً وسريعةَ التكسّر، كما تجعلُها تتميزُ بدرجاتِ غليانٍ وانصهارٍ عاليةٍ للمركّباتِ المحتويةِ على أواصرَ تساهميةٍ فقط.
- تتكوّنُ الأيوناتُ المتعدّدةُ الذرّاتِ لدى تآصرِ مجموعةٍ من الذرّاتِ المشحونةِ كهربائيًّا بصورةٍ تساهمية.

**المفردات**

| | | | |
|---|---|---|---|
| أيونٌ متعدّدُ الذرّات | (168) polyatonic ion | وحدةُ الصيغة | (164) formula unit |
| مركّبٌ أيونيّ | (164) ionic compound | | |

### 4-6

- الآصرةُ الفلزيةُ هي نوعٌ من التآصرِ الكيميائيِّ الناتجِ من الانجذابِ الحاصلِ بين نَوَى ذرّاتِ الفلزّاتِ وبحرِ الإلكتروناتِ المتحرّكةِ الذي يحيطُ بها.
- يعطي بحرُ الإلكتروناتِ في الآصرةِ الفلزّيةِ الفلزّاتِ خواصَّها: توصيلَها الجيّدَ للكهرباءِ وللحرارة، وقابليّتَها للسحبِ والطرق، ولمعانَها.

**المفردات**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| الآصرةُ الفلزّية | (169) metallic bond | قابليةُ السحب | (170) ductility | قابليةُ الطرق | (169) malleability |

**5-6**

- تُرسَمُ أشكالُ الجزيئاتِ باستخدامِ نظريةِ VSEPR التي تعتمدُ على واقعِ التنافرِ القويِّ بين أزواجِ الإلكترونات، وهو ما يجعلُها تميلُ إلى التباعدِ عن بعضِها إلى أقصى حدّ.
- تُستخدَمُ نظريةُ التهجينِ لتوقُّعِ أشكالِ الجزيئات. وأساسُ هذه النظرية: إنَّ أوربتالات الذرّاتِ يمكنُ أنْ تتداخلَ لتشكّلَ أوربتالات متساويةً في الطاقة.
- تُسمّى القوى التي تربطُ بين الجزيئاتِ القوى البينية، ومنها القوى ثنائيةُ القطبية–ثنائيةُ القطبية، وقوى تشتتِ لندن. والآصرةُ الهيدروجينيةُ حالةٌ خاصةٌ من حالاتِ ثنائيةِ القطبية–ثنائيةِ القطبية.

### المفردات

| | |
|---|---|
| الأوربتالاتُ المهجّنة | (176) hybrid orbitals |
| التهجين | (175) hybridization |
| ثنائيّةُ القطب | (177) dipole |
| الآصرةُ الهيدروجينية | (179) hydrogen bond |
| القطبيةُ الجزيئية | (171) molecular polarity |
| القوى البينية | (176) intermolecular forces |
| قوى تشتّت لندن | (180) London dispersion forces |
| قوى ثنائيةُ القطب–ثنائيةُ القطب | (177) dipole-dipole forces |
| نظريةُ تنافرِ أزواجِ إلكترونات التكافؤ | (171) VSEPR theory |

## مراجعةُ مفاهيم

**1.** ما الآصرةُ الكيميائية؟

**2.** حدِّدْ وعرِّفِ الأنواعَ الثلاثةَ للأواصر؟

**3.** ما العلاقةُ بين الكهرسلبيةِ والطابعِ الأيونيِّ لآصرةٍ كيميائية؟.

**4.** أ. ما المقصودُ بالمصطلحِ «قطبيّ»، وضِّحْ علاقتَهُ بالآصرة الكيميائية؟
ب. ميِّزْ بين آصرةٍ تساهميةٍ قطبيةٍ وآصرةٍ تساهميةٍ غيرِ قطبية؟

**5.** ما الذي يحدِّدُ ما إذا كانت الذرّاتُ ستكوِّنُ أواصرَ كيميائيةً أم لا؟

**6.** ما الجزيء؟

**7.** أ. ما الذي يحدِّدُ طولَ الآصرة؟
ب. ما العلاقةُ، بشكلٍ عامٍّ، بين طولِ الآصرةِ وطاقتِها؟

**8.** صفْ مواقعَ الإلكتروناتِ في آصرةٍ تساهمية.

**9.** ما معنى زوجٍ غيرِ مشتركٍ في آصرةٍ تساهمية؟

**10.** صفْ قاعدةَ الثمانيةِ بدلالةِ كلٍّ من الترتيبِ الإلكترونيِّ للغازاتِ النبيلةِ والطاقةِ الكامنة.

**11.** حدِّدْ عددَ إلكتروناتِ التكافؤِ في ذرّاتِ العناصرِ التالية:

| | |
|---|---|
| أ. H | ب. F |
| ج. Mg | د. O |
| هـ. Al | و. N |
| ز. C | |

**12.** في تراكيبِ لويس أيُّ ذرّةٍ تكونُ مركزية؟ كيف يتمُّ التعرّفُ إليها؟

**13.** ميِّزْ بين الأواصرِ التالية: الأحادية والثنائية والثلاثية، من خلالِ تعريفِها، ثم أَعطِ مثلاً على كلٍّ منها.

**14.** كيف تتمُّ معرفةُ الحاجةِ إلى الأواصرِ المتعددةِ في تراكيب لويس؟

**15.** أ. ما المركّبُ الأيونيّ؟
ب. على أيِّ شكلٍ تتواجدُ غالبيةُ هذه المركّبات؟

**16.** أ. ما وحدةُ الصيغة؟
ب. ما مكوِّناتُ وحدةٍ واحدةٍ من الصيغة $CaF_2$؟

**17.** أ. قارنْ، بشكلٍ عامّ، بين ميزاتِ المركّباتِ الأيونيةِ والتساهمية، من حيثُ درجاتُ الانصهارِ ودرجاتُ الغليانِ وسهولةُ التبخر.
ب. كيف تعلِّلُ هذه الفروقَ في الخواصّ؟
ج. اذكرْ 3 خواصَّ فيزيائيةٍ للمركّباتِ الأيونية.

**18.** أ. ما الأيوناتُ المتعددةُ الذرّات؟
ب. أَعطِ مثلين عليها.
ج. على أيِّ شكلٍ تتواجدُ هذه الأيوناتُ في الطبيعة؟

**19.** أ. ما وجهُ الاختلافِ الذي يميِّزُ الفلزّاتِ من المركّباتِ الأيونيةِ والتساهمية؟
ب. أيُّ ميزةٍ خاصةٍ بالفلزّاتِ تجعلُها موصلةً جيّدةً للكهرباء؟

20. ما خواصُّ الفلزّاتِ التي تبررُ قدرتَها الهائلة على تكوينِ أواصرَ فلزّية؟

21. أ. عرِّفِ الآصرةَ الفلزية.
ب. كيف تقاسُ قوّةُ هذه الآصرة؟

22. أ. كيف تساعدُ نظريةُ VSEPR على تصنيفِ الجزيئات؟
ب. ما الأشكالُ الهندسيةُ المتوقّعةُ للمركّبينِ HF و $F_2$؟

23. توقّعْ أشكالَ الجزيئاتِ التي تتوافقُ مع النماذجِ التالية، مستخدمًا نظريةَ VSEPR:
أ. AB2
ب. AB3
ج. AB4
د. AB5
هـ. AB6

24. حدِّدْ دورَ كلٍّ مما يلي في توقّعِ الأشكالِ الهندسيةِ للجزيئات:
أ. الأزواجِ غيرِ المشتركة.
ب. الأواصرِ الثنائية.

25. أ. ما الأوربتالاتُ المهجّنة؟
ب. ما الذي يحدِّدُ عددَ الأوربتالاتِ المهجّنةِ التي تُنتجُها ذرّةٌ معيَّنة؟

26. أ. ما القوى البينية؟
ب. قارنْ بين القوى البينيةِ الموجودةِ والأواصرِ الفلزية؟
ج. أين تجدُ أشدَّ هذه القوى؟

27. ما العلاقةُ بين الكهرسلبيةِ وقطبيةِ الآصرةِ الكيميائية؟

28. أ. ما القوى ثنائيةُ القطب–ثنائيةُ القطب؟
ب. ما الذي يحدِّدُ قطبيةَ الجزيء؟

29. أ. ما المقصودُ بمحصّلةِ القوى ثنائيةِ القطب؟
ب. ما أهميةُ القوى البينيةِ حياتيًّا؟

30. أ. ما الآصرةُ الهيدروجينية؟
ب. ما سببُ شدةِ هذه الآصرة؟
ج. ما قوى تشتُّتِ لندن؟

## مسائل

### صفاتُ الأواصرِ الكيميائيّة

31. احسبْ فروقَ الكهرسلبيةِ وحدِّدْ نوعيةَ الآصرةِ والذرّةِ التي تحملُ الشحنةَ السالبةَ لما يلي من أزواجِ الذرات:
أ. I و H
ب. O و S
ج. Br و K
د. CI و Si
هـ. S و Se
و. H و C

32. رتِّبْ تصاعديًّا أزواجَ الأواصرِ في السؤالِ 31 بحسبِ الطابعِ التساهميّ.

33. استعملِ الترميزَ النقطيَّ للإلكتروناتِ لتوضيحِ شكلِ التآصرِ في كلٍّ من الجزيئاتِ التالية:
أ. كلور $Cl_2$
ب. أكسجين $O_2$
ج. فلوريد الهيدروجين HF

### الترميزُ النقطيُّ للإلكتروناتِ وتراكيبِ لويس

34. استخدمِ الترميزَ النقطيَّ للإلكترونِ لبيانِ عددِ إلكتروناتِ التكافؤِ الموجودةِ في ذرّةٍ واحدةٍ في كلٍّ من العناصرِ التالية:
أ. Li
ب. Ca
ج. Cl
د. O
هـ. C
و. P
ز. Al
ح. S

**35.** استخدمِ الترميزَ النقطيَّ الإلكترونيَّ لتوضيحِ عمليةِ تكوينِ المركّباتِ الأيونيةِ الخاصةِ بالعناصرِ التالية:

أ. Na وS
ب. Ca وO
ج. Al وS

**36.** ارسمْ تركيبَ لويس لكلٍّ من الجزيئاتِ التاليةِ التي تحتوي على:

أ. ذرّةٍ C واحدةٍ وأربعِ ذرّاتِ F.
ب. ذرّتَيْ H وذرّةٍ Se واحدة.
ج. ذرّةٍ N واحدةٍ وثلاثِ ذرّاتِ I.
د. ذرّةٍ Si واحدةٍ وأربعِ ذرّاتِ Br.
هـ. ذرّةٍ C واحدةٍ وذرّةٍ Cl واحدةٍ وثلاثِ ذرّاتِ H.

**37.** حدِّدْ أنواعَ الأوربتالاتِ المهجّنةِ التي تشكلُها ذرّةُ البورونِ في جزيءِ فلوريدِ البورون $BF_3$.

## نظريةُ VSEPR والشكلُ الهندسيُّ للجزيئات

**38.** طبقًا لنظريةِ VSEPR، ما الأشكالُ الهندسيةُ المتّصلةُ بالأنواعِ التاليةِ من الجزيئات؟

أ. $AB_3E$
ب. $AB_2E_2$
ج. $AB_2E$

**39.** استخدمِ التهجينَ لشرحِ التآصرِ في جزيءِ الميثان $CH_4$.

**40.** حدِّدْ لكلٍّ من الجزيئاتِ القطبيةِ التاليةِ اتّجاهَ القطبيةِ الثنائيةِ المتكوِّنةِ فيها.

أ. F-H
ب. H-Cl
ج. H-Br
د. H-I

**41.** حدِّدِ الأواصرَ القطبيةَ وغيرَ القطبيةِ فيما يلي:

أ. H-H
ب. H-O
ج. Br-Br
د. H-Cl
هـ. H-N

**42.** حدِّدْ، على أساسِ قطبيةِ الآصرةِ واتّجاهِها، هل الجزيئاتُ التاليةُ قطبيةٌ أم غيرُ قطبية؟

أ. $H_2O$
ب. $I_2$
ج. $CF_4$
د. $NH_3$
هـ. $CO_2$

**43.** ارسمْ تركيبَ لويس لكلٍّ من الجزيئاتِ التالية، ثمَّ استخدمْ نظريةَ VSEPR لتوقّعِ أشكالِها الهندسية:

أ. $SCl_2$
ب. $PI_3$
ج. $Cl_2O$

## مراجعةٌ متنوّعة

**44.** ما الترتيبُ الذي تأخذُهُ الأزواجُ التاليةُ بحسبِ قوّةِ التجاذبِ المتصاعدة؟

أ. الجزيءُ القطبيُّ والجزيءُ القطبيّ
ب. الجزيءُ غيرُ القطبيّ والجزيءُ غيرُ القطبيّ
ج. الجزيءُ القطبيُّ والأيون
د. الأيونُ والأيون

**45.** حدِّدِ الشكلَ الهندسيَّ للجزيئاتِ التالية:

أ. $CCl_4$
ب. $BeCl_2$
ج. $PH_3$

**46.** ما أنواعُ الذرّاتِ التي تميلُ إلى تشكيلِ أنواعِ الأواصرِ التالية؟

أ. الأيونية
ب. التساهمية
ج. الفلزّية

**47.** ماذا يحدثُ لمستوى طاقة ذرّتينِ متآصرتينِ واستقرارِهما عندما تنفصلانِ لتصبحا ذرّتينِ منفردتين؟

**48.** أ. بِمَ تختلفُ الأواصرُ الأيونيةُ عن الأواصرِ التساهمية؟
ب. بِمَ يختلفُ المركّبُ الأيونيُّ عن المركّبِ التساهميّ؟
ج. بِمَ يختلفُ المركّبُ الأيونيُّ عن الفلزّ؟

49. اكتبِ الترميزَ النقطيَّ للإلكترونِ لكلٍّ من العناصرِ التالية:

أ. He

ب. Cl

ج. O

د. P

هـ. B

50. اكتبِ الصيغةَ البنائيةَ للميثانول $CH_3OH$.

51. كم أيونَ $K^+$ وكم أيونَ $S^{2-}$ يوجدُ في وحدةِ صيغةِ مركّبٍ أيونيٍّ مكوّنٍ من هذين الأيونَيْن؟

52. اشرح الآصرةَ الفلزّيةَ التابعةَ للذرّاتِ الفلزّيةِ من خلالِ الأوربتالاتِ الخارجيةِ التي تحتوي على عددٍ قليلٍ من الإلكترونات.

53. اشرحْ دورَ الهندسةِ الجزيئيةِ في تحديدِ القطبيةِ الجزيئية.

54. قارنْ بين مستوى الطاقةِ لأوربتالٍ مهجّنٍ ومستوياتِ الطاقةِ للأوربتالاتِ قبل التهجين.

55. تبلغُ حرارةُ تبخرِ الألمينيوم 284 kJ/mol، وتبلغُ حرارةُ تبخرِ البريليوم 224 kJ/mol. في أيِّ عنصرٍ تكونُ الآصرةُ الفلزّيةُ أقوى؟

56. حدِّدْ فروقَ الكهرسلبيةِ ونوعَ الآصرةِ الممكن تكوُّنُها والذرّةَ ذاتَ الكهرسلبيةِ الأكبرِ في كلٍّ من أزواجِ الذرّاتِ التالية:

أ. Zn وO

ب. Br وI

ج. S وCl

57. ارسمْ تراكيبَ لويس للجزيئاتِ التالية:

أ. $PCl_3$

ب. $CCl_2F_2$

ج. $CH_3NH_2$

58. اكتبْ تركيبَ لويس لـ $BeCl_2$. (تذكير: لا تتبعُ ذرّاتُ البريليوم قاعدةَ الثمانية).

59. لماذا تتآصر مُعظمُ الذرّاتِ تآصرًا كيميائيًّا مع الذرّاتِ الأخرى الموجودةِ في الطبيعة؟

## تفكيرٌ ناقد

60. **استنتاجُ العلاقات** يتغيّرُ طولُ الآصرةِ بحسبِ نوعِها. توقَّعْ أطوالَ أواصرِ الكربونِ–الكربون C–C في الجزيئاتِ التاليةِ وقارنْ بينها. اشرحْ إجابتَك (انظرِ **الشكل 6-2**).

```
  H H        H H
  | |        | |
H-C-C-H    H-C-C-H    H-C≡C-H
  | |
  H H
```

$C_2H_6$    $C_2H_4$    $C_2H_2$

## بحثٌ وكتابة

61. اكتبْ تقريرًا حول عملِ لينوس باولينغ.

أ. ناقشْ عملَه حول طبيعةِ الآصرةِ الكيميائية.

ب. كانَ لينوس باولينغ مؤيِّدًا لاستعمالِ الفيتامين C للوقايةِ من الرشح. ناقشْ صحةَ ادِّعاءاتِه. تحرَّ أي دلائلَ علميةٍ تؤكدُ أنَّ الفيتامينَ C يقي من الرشح.

## تقويمٌ بديل

62. اقترحْ مجموعةً من المعاييرِ التي تسمحُ لك بأنْ تصنّفَ المركّباتِ والعناصرَ التاليةَ على أنَّها أيونيةٌ أو غيرُ أيونية: $CaCO_3$، Cu، $H_2O$، NaBr و C (الغرافيت). اعرضْ هذه المعاييرَ على معلّمِك.

63. **تقويمُ الأداء** عيّنْ 10 موادَّ في منزلِك وما حولَه، ثمَّ حدِّدْ: أكانتْ هذه الموادُّ تتضمنُ أواصرَ أيونيةٍ، أم تساهميةٍ، أم فلزّية؟

# المفردات

## أ

آصرةٌ كيميائية — (151) chemical bond

آصرةٌ تساهمية — (151) covalent bond

آصرةٌ أيونية — (151) ionic bond

آصرةٌ تساهميةٌ قطبية — (152) polar-covalent bond

آصرةٌ تساهميةٌ غيرقطبية — (152) non polar- covalent bond

آصرةٌ أحادية — (160) single bond

آصرةٌ ثنائية — (161) double bond

آصرةٌ ثلاثية — (161) triple bond

آصرةٌ فلزّية — (169) metalic bond

آصرةٌ هيدروجينية — (179) hydrogen bond

أعدادُ الكمّ — (93) quantum numbers

أعدادٌ معنوية — (46) significant figures

أعلى مستوى طاقة — (102) highest occupied level

أشعةٌ كهرومغناطيسية — (85) electromagnetic radiation

الأكتينيد — (118) actinides

الألفةُ الإلكترونية — (139) electron affinity

إلكترونُ الطبقةِ الداخلية — (102) inner-shell electron

إلكتروناتُ التكافؤ — (142)valence electrons

أنيون — (141) anion

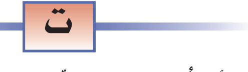
أواصرُ متعددة — (162) multiple bond

أوربيتال — (93) orbital

أوربيتالاتٌ مهجّنة — (176) hybrid orbitals

أيون — (135) ion

أيونٌ متعدِّد الذرات — (169) polyatomic ion



## ت

التأثيرُ الكهروضوئيّ — (87) photo-electric effect

التأين — (135) ionization

الترتيبُ الإلكترونيّ — (97) electron configuration

ترتيبُ الغازِ النبيل — (104) noble gas configuration

التردد — (85) frequency

تركيبُ لويس — (160) Lewis' structure

الترميزُ العلميّ — (50) scientific notation

الترميزُ النقطيُّ للإلكترون — (159) electron-dot notation

تغيُّرُ الحالة — (11) change of state

تغيُّرٌ كيميائيّ — (13) chemical change

تغيُّرٌ فيزيائيّ — (11) physical change

تفاعلٌ كيميائيّ — (13) chemical reaction

تناسبٌ طرديّ — (55) directly proportional

تناسبٌ عكسيّ — (56) inversely proportional

التهجين — (175) hybridization

## ث

ثنائيّةُ القطب — (177) dipole

## ج

الجدولُ الدوريّ — (117) periodic table

جزيء — (154) molecule

جزيءٌ ثنائيُّ الذرة — (154) diatomic molecule

## ح

حالةُ الاستثارة — (88) excited state

حجم — (36) volume

## خ

خاصةٌ كيميائية — (13) chemical property

خاصةٌ فيزيائية — (11) physical property

خاصةٌ توسيعيةٌ تعتمدُ على كمية المادة — (11) extensive property

خاصةٌ لا تعتمدُ على كميةِ المادة — (11) intensive property

خليط — (15) mixture

## د

الدقة — (43) accuracy

دورة — (21) period

## ذ

ذرّة — (10) atom

## ز

زمرة — (20) group

زوجٌ غيرُ مشترَك — (159) unshared pair

## س

سائل — (12) liquid

## ش

شبهُ فلزّ — (23) metalloid

## ص

صلب — (12) solid

صيغةٌ كيميائية — (154) chemical formula

صيغةٌ جزيئية — (154) molecular formula

صيغةٌ بنائية — (160) structural formula

## ط

طاقةُ الآصرة — (156) bond energy

طاقةُ التأين — (135) ionization energy

طولُ الآصرة — (156) bond length

طولُ الموجة — (85) wave length

الطيفُ المستمر — (89) continuous spectrum

طيفُ الانبعاثِ الخطيّ — (89) line-emission spectrum

طيفٌ كهرومغناطيسيّ — (85) electromagnetic spectrum

## ع

عائلة — (20) family

العددُ الذريّ — (74) atomic number

العددُ الكتليّ — (75) mass number

عددُ الكمِّ الثانويّ — (93) angular momentum number

عددُ الكمِّ الرئيس — (93) principal quantum number

عددُ الكمِّ المغناطيسيّ
(95) magnetic quantum number

عددُ الكمِّ المغزليّ
(96) spin quantum number

عناصرُ انتقالية (126) transition elements

عناصرُ رئيسة (129) main group elements

عنصر (10) element

## غ

غاز (12) gas

الغازُ النبيل (103) noble gas

## ف

فرضية (30) hypothesis

فلزّ (22) metal

فلزّاتٌ قلويّة (124) alkali metals

فلزّاتٌ قلويّةٌ أرضية
(124) alkaline earth metals

فوتون (87) photon

## ق

قابليةُ السحب (170) ductility

قابليةُ الطَّرْق (169) malleability

قاعدةُ هوند (88) Hund's rule

قانونُ النسبِ الثابتة
(66) law of definite proportions

قانونُ النسبِ المضاعفة
(66) law of multiple proportions

قانونُ حفظِ الكتلة
(65) law of conservation of mass

القانونُ الدوريّ (117) periodic law

قطبيّ (152) polar

قطبيةٌ جزيئية (171) molecular polarity

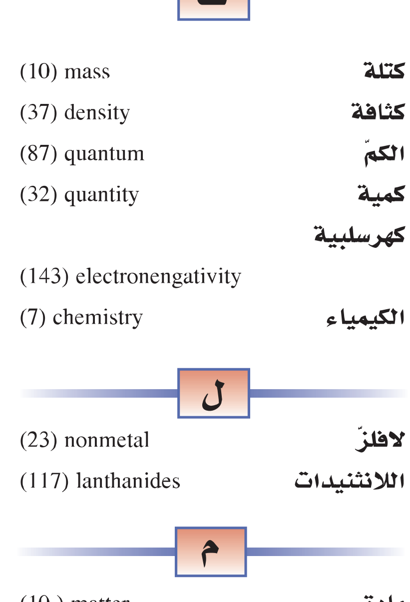
قوًى بينية (176) intermolecular forces

قوًى تشتت لندن
(180) London dispersion forces

قوًى ثنائيةُ القطب-ثنائيةُ القطب
(177) dipole-dipole forces

القوى النووية (73) nuclear forces

## ك



كتلة (10) mass

كثافة (37) density

الكمّ (87) quantum

كمية (32) quantity

كهرسلبية
(143) electronengativity

الكيمياء (7) chemistry

## ل

لافلزّ (23) nonmetal

اللانثنيدات (117) lanthanides

## م

مادة (10 ) matter

مادةٌ كيميائية (8) chemical

مادةٌ نقية (16) pure substance

مبدأُ أوفباو (97) Aufbau's principle

مبدأُ باولي للاستثناء
(97) Pauli exclusion principle

متفاعل (13) reactant

مركّب (11) compound

مركّبٌ أيونيّ (164) ionic compound

مركّبٌ جزيئيّ
(154) molecular compound

المستوى الأرضيُّ للطاقة (88) ground state

مُعاملُ التحويل (39) conversion factor

معدلُ الكتلةِ الذرية
(79) average atomic mass

المنهجُ العلميّ (29) scientific method

## ن



ناتج (13) product

النسبةُ المئويةُ للخطأ (44) percent error

نصفُ القُطْرِ الذريّ (132) atomic radius

النظامُ الدولي للوحدات (32) SI

نظام (29) system

نظرية (31) theory

نظريةُ تنافرِ أزواجِ إلكتروناتِ التكافؤ
(171) VSEPR theory

نظير (75) isotope

نموذج (31) model

نويدة (76) nuclide

## هـ

الهالوجينات (129) halogens

## و

وحدةُ الصيغة (164) formula unit

وحدةُ الكتلةِ الذرية (و.ك.ذ)
(78) atomic mass unit (a.m.u)

وحدةٌ مشتقة (34) derived unit

وزن (33) weight